

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6943577号
(P6943577)

(45) 発行日 令和3年10月6日(2021.10.6)

(24) 登録日 令和3年9月13日(2021.9.13)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 S 7/03 (2006.01)

G O 1 S 7/03 2 2 0

H O 1 Q 21/06 (2006.01)

H O 1 Q 21/06

H O 1 Q 25/02 (2006.01)

H O 1 Q 25/02

H O 1 Q 13/22 (2006.01)

H O 1 Q 13/22

G O 1 S 13/931 (2020.01)

G O 1 S 13/931

請求項の数 3 外国語出願 (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2017-28894 (P2017-28894)
 (22) 出願日 平成29年2月20日(2017.2.20)
 (65) 公開番号 特開2017-215309 (P2017-215309A)
 (43) 公開日 平成29年12月7日(2017.12.7)
 審査請求日 令和2年2月13日(2020.2.13)
 (31) 優先権主張番号 62/343,704
 (32) 優先日 平成28年5月31日(2016.5.31)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 15/253,471
 (32) 優先日 平成28年8月31日(2016.8.31)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 米国 (US)

(73) 特許権者 500575824
 ハネウェル・インターナショナル・インコーポレーテッド
 Honeywell International Inc.
 アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 28202 シャルロッテ, 300サウス・テイロンストリート, スイート600
 ハネウェル・インターナショナル・インコーポレーテッド インテレクチュアルプロパティサービスグループ
 (74) 代理人 100140109
 弁理士 小野 新次郎
 (74) 代理人 100118902
 弁理士 山本 修

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 統合されたデジタル・アクティブ・フェーズド・アレイ・アンテナと翼端衝突回避システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

統合されたレーダーアンテナを備える障害物検出システムであって、前記統合されたレーダーアンテナが、多層回路板を備え、前記多層回路板が、

スロット付き導波管レーダー送信アンテナと、

スロット付き導波管レーダー受信アンテナと、

前記スロット付き導波管レーダー送信アンテナと信号通信するレーダー送信機電子装置であって、前記レーダー送信機電子装置が、

前記スロット付き導波管レーダー送信アンテナ及び前記スロット付き導波管レーダー受信アンテナの層とは異なる前記多層回路板の層の上にあり、

前記スロット付き導波管レーダー送信アンテナと共に、周波数変調連続波(FMCW)のモノパルス・レーダー信号を出力するように構成され、前記モノパルス・レーダー信号が、固定の送信レーダーパターンを含む、

前記レーダー送信機電子装置と、

前記スロット付き導波管レーダー受信アンテナと信号通信するレーダー受信機電子装置であって、前記レーダー受信機電子装置が、

出力された前記モノパルス・レーダー信号に対応するレーダー反射を前記レーダー受信アンテナから受信するように構成されるデジタル・ビーム形成回路を含み、前記レーダー受信機電子装置が、受信されたレーダー反射を、超音波周波数範囲に変換し、当該変換され、受信されたレーダー反射に対して、前記超音波周波数範囲において信号処理を実行

10

20

するように構成され、前記超音波周波数範囲が、16MHzを含む通過帯域であり、

前記変換され、受信されたレーダー反射に基づいてターゲット検出情報の通知を生成するように構成される1以上のプロセッサを含む、
前記レーダー受信機電子装置と、
を備える、

障害物検出システム。

【請求項2】

請求項1に記載の障害物検出システムであって、前記レーダー送信機電子装置は、更に、前記レーダー送信アンテナと共に、仰角が8度より小さく且つ方位角が少なくとも65度の送信レーダー・ビーム幅を含むモノパルス・レーダー信号を出力するように構成され、前記ターゲット検出情報のレーダー・イメージング分解能は、100メートルの距離で少なくとも3平方メートルである、障害物検出システム。

10

【請求項3】

請求項1に記載の障害物検出システムであって、ワイヤレス・ローカル・エリア・ネットワーク(WLAN)データリンクを介して通信するように構成される外部通信回路をさらに含む、障害物検出システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[0001] 本出願は、2016年5月31日に出願された米国仮出願第62/343704号の利益を主張するものであり、この参照により上記米国仮出願の内容全体がここに組み込まれるものとする。

20

【0002】

[0002] 本開示は、衝突回避システムと、衝突回避システムで使用されるアンテナとに関する。

【背景技術】

【0003】

[0003] 近くにある物を検出及び追跡することは、特に、地上オペレーション中の航空機に関しては有用である。航空機と、他の航空機や地上用ビークルやビルディング等のような構造物などのような他の物との地上での衝突は、高い費用を要する損傷を生じさせることがあり、また、危険である。離陸するために地上を走行中の航空機は、燃料タンクが満杯のことが多く、燃料タンクは、衝突の際に破裂することがあり、それにより火事や爆発が起きる可能性がある。幾つかの解決法は、障害物となり得る物を検出するために航空機に配されたレーダーや他のセンサーを用い、情報をヒューマン・マシン・インタフェース(例えば、ヘッドアップ、ヘッドダウン、又はヘッド・マウント型のディスプレイ)でパイロットに呈示する。そのような情報を入手可能にすることで、物に対するパイロットの Awareness を向上させ、特定の障害物が脅威であるかを評価する際の支援となる。幾つかのシステムは、航空機に対しての障害物の横の位置のみについての情報を提供し、これは、翼や翼端やエンジン・ナセルの高さが、障害物との衝突を避けられるものかについて、明確に考慮していない。考えられ得る危険についての三次元情報は、単なる横方向の情報よりも価値があり得る。幾つかのシステムは、設置に高い費用がかかる場合や、設置できない場合があるが、その理由は、そのシステムは、センサーとコックピットの表示ユニットとの間の電力用及び信号用のケーブルを敷設するために、費用のかかる再作業を要し得るからである。

30

40

【0004】

[0004] 他のシステムは、翼端に取り付けられるレーダー・センサーを含み得、これは、存在する照明が、その照明をカバーする保護ガラスを通して「見える」ことの利点を用いる。標準ではないガラスの材料及び厚さは、それらのレーダーに関して、透過及び精度の問題を生じさせ得る。また、翼に対しての何れかの変更は、除氷システムや、ファウラー・フラップなどのような翼の可変構造を妨害することがあり、また、多くの商用の航空

50

機の翼内にあり得る燃料タンクの近くに、又は燃料タンクを通して、ケーブルを敷設する必要があり得る。従って、翼に対する変更は、その変更が安全性や航空機の検定に影響を及ぼし得るという点で、欠点を有し得る。航空機の翼に取り付けられる何れの衝突回避システムも、航空機の元の設計の一部であることが適切であろう。

【発明の概要】

【0005】

[0005] 一般に、本開示は、衝突回避システムと、そのような衝突回避システムで利用されるアンテナとに関連する様々な技術に向けたものである。本開示の技術に従った衝突回避システムは、レーダーを用いてカバレッジ・エリア内の望まれない物を検出し、そのカバレッジ・エリア内の望まれない物の検出に回答して、オペレーターへ通知を送る。

10

【0006】

[0006] 一例では、本開示は、障害物検出システムに向けたものであり、この障害物検出システムは、スロット付き導波管レーダー送信アンテナと、スロット付き導波管レーダー受信アンテナと、前記スロット付き導波管レーダー送信アンテナと信号通信するレーダー送信機電子装置とを含み、前記レーダー送信機電子装置は、前記スロット付き導波管レーダー送信アンテナと共に、モノパルス・レーダー信号を出力するように構成される。前記障害物検出システムはまた、前記スロット付き導波管レーダー受信アンテナと信号通信するレーダー受信機電子装置を含み、前記レーダー受信機電子装置は、出力された前記モノパルス・レーダー信号に対応するレーダー反射を前記レーダー受信アンテナから受信するように構成されるデジタル・ビーム形成回路を含む。更に、前記障害物検出システムは、前記レーダー反射に基づいてターゲット検出情報の通知を生成するように構成される1以上のプロセッサを含むことができ、前記スロット付き導波管レーダー送信アンテナと、前記スロット付き導波管レーダー受信アンテナと、前記レーダー送信機電子装置と、前記レーダー受信機電子装置と、前記1以上のプロセッサとは、1つの統合されたパッケージを構成する。前記障害物検出システムは、例えば、航空機、自動車、船舶、又は任意の他の同様のタイプのビークルの上又は中に実装することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1A】[0007] 図1Aは、航空機に取り付けられた衝突回避システムの例示のカバレッジ・エリアを示す概念図である。

30

【図1B】[0008] 図1Bは、航空機の垂直スタビライザーに取り付けられた衝突回避システムの例示の位置を更に詳細に示す概念図である。

【図2A】[0009] 図2Aは、本開示の1以上の技術に従った、衝突回避システムのコンポーネントとすることができる例示の統合型レーダー・システムの分解図を示す、概念及び組み立ての図である。

【図2B】[0010] 図2Bは、本開示の1以上の技術に従った、衝突回避システムのコンポーネントとすることができる例示の統合型レーダー・システムの送信用、受信用、及び通信用のアンテナを示す概念図である。

【図3A】[0011] 図3Aは、本開示の1以上の技術に従った、例示の基板統合型導波管(SIW)エレメントを示す三次元図である。

40

【図3B】[0012] 図3Bは、各チャンネルのための分離したミキサーを持つ例示のスロット導波管アンテナ・アレイ・システムのセクションを示す。

【図3C】[0013] 図3Cは、4チャンネル・ミキサーと、ミキサーをパワー分割器及びローカル発振器(LO)に接続する1個のSIW部とを持つ例示のスロット導波管アンテナ・アレイ・システムのセクションを示す。

【図3D】[0014] 図3Dは、本開示の1以上の技術に従った、寸法及び間隔を示す、例示のSIWエレメントの二次元図である。

【図3E】[0015] 図3Eは、本開示の1以上の技術に従った、例示のSIWパワー分割器の三次元図である。

【図3F】[0016] 図3Fは、本開示の1以上の技術に従った、スロットとマイクロスト

50

リップとを結合するたの寸法を示す、例示のスロット導波管アンテナ・アレイ・システムの二次元図である。

【図 3 G】[0017] 図 3 G は、導波管層、信号層、及びコンポーネント層を統合することができる例示の多層印刷回路板の三次元図と断面図とを組み合わせた図である。

【図 4】[0018] 図 4 は、本開示の 1 以上の技術に従った、スロット導波管アンテナ・アレイ・システムを用いる例示の統合型モノパルス・レーダー・システムを示す概念的かつ概略的なブロック図である。

【図 5 A】[0019] 図 5 A は、障害物衝突回避システムで用いることができる例示のレーダー受信チャンネル及びレーダー送信機電子装置の概念的かつ概略的なブロック図である。

10

【図 5 B】[0020] 図 5 B は、本開示の 1 以上の技術に従った、レーダー受信機電子装置の一部とすることができる複数のチャンネルを示す、例示の受信モジュールの幾つかの部分の概念ブロック図である。

【図 5 C】[0021] 図 5 C は、レーダー受信機電子装置に含まれることができ、多層印刷回路板に取り付けられ相互接続することができる追加のコンポーネントの幾つかを示す。

【図 6】[0022] 図 6 は、本開示の 1 以上の技術に従った、衝突回避システムのための例示のレーダー送信パターンを示す概念図である。

【図 7 A】[0023] 図 7 A ないし図 7 C は、本開示の 1 以上の技術に従った、衝突回避システムのための例示のレーダー受信パターンを示す概念図である。

20

【図 7 B】図 7 A ないし図 7 C は、本開示の 1 以上の技術に従った、衝突回避システムのための例示のレーダー受信パターンを示す概念図である。

【図 7 C】図 7 A ないし図 7 C は、本開示の 1 以上の技術に従った、衝突回避システムのための例示のレーダー受信パターンを示す概念図である。

【図 8】[0024] 図 8 は、本開示の 1 以上の技術に従った、衝突回避システムのための例示のレーダー受信パターンを示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0008】

[0025] 本開示は、衝突回避システムと、そのような衝突回避システムで使用するアンテナとに関連する様々な技術を記載する。本開示の技術に従った衝突回避システムは、レーダーを用いてカバレッジ・エリア内の望まれない物を検出し、そのカバレッジ・エリア内の望まれない物の検出に应答して、オペレーターへ通知を送る。一例では、本開示の衝突回避システムは、航空機に取り付けることができ、カバレッジ・エリアは、航空機の翼端又は機首を囲む範囲とすることができる。別の例では、本開示の衝突回避システムは、船舶に取り付けることができ、カバレッジ・エリアは、船舶の周りのエリアの全て又は一部とすることができる。後に更に詳細に説明するが、カバレッジ・エリアを、望ましいエリア、即ち、障害となり得るものを適切に検出するために十分な大きさであるが、多数の誤った陽性反応を生じさせないように十分に小さいエリアに制限するために、本開示の衝突回避システムは、デジタル・ビーム形成、電磁バンドギャップ分離、基板統合型導波管 (substrate integrated waveguide) (SIW)、及び他のそのような構造のうちの 1 以上のものを用いるアンテナを含むことができる。

30

40

【0009】

[0026] 幾つかの実施形態では、アンテナと関連する電子装置との双方を含む衝突回避システムは、1つの統合されたパッケージとして実装することができる。1つの統合されたパッケージは、多くの場合、航空機の垂直スタビライザーの最上部のレードーム内などのような、様々な位置に取り付けられるように、十分に小さく且つ十分に重量が軽い。更に、衝突回避システムは、ディスプレイやユーザー端末とワイヤレスで通信することができる。従って、衝突回避システムは、長いワイヤを敷く必要なしに取り付けることができる。別の例では、衝突回避システムは、ユーザー端末、飛行情報システム、ピークル情報システム、鉄道や自動車の交通管理システム、又はそれらと似たものなどのような他のシステムと通信するための他の技術を、実装することができる。衝突回避システムは、光、有

50

線（例えば、Ethernet（登録商標）、USBなど）、又は他のこれらと似た接続や通信媒体を用いて、他のシステムと通信することができる。

【0010】

【0027】 図1Aは、航空機に取り付けられた衝突回避システムの例示のカバレッジ・エリアを示す概念図である。図1Aは、例示の衝突回避システムを持つ航空機10を示し、衝突回避システムは、航空機10の垂直スタビライザー16の中又は上に取り付けることができる。例示の衝突回避システムは、左レーダー・カバレッジ・エリア12L及び右レーダー・カバレッジ・エリア12R（まとめて「レーダー・カバレッジ・エリア12」）の中の物を検出するように構成することができる。レーダー・カバレッジ・エリア12は、約80度の広さのエリアを含むことができる。衝突回避システムからの情報は、航空機10の機首レードーム内に取り付けることができる天候レーダー・システムからの情報と組み合わせることができる。航空機の機首に配される完全な天候レーダー・システムは、機首位置から120度ないし180度の間の広さの領域をカバーするために、地上オペレーションの間に使用することができる。

10

【0011】

【0028】 例示の衝突回避システムは、更に、例えば、Wi-Fiを介して、通信エリア14にわたって通信するように構成することができる。通信エリア14の図は、通信エリアの単なる一例を表す。他のサイズ及び形状の通信エリアを用いることもできる。Wi-Fi通信エリア14は、衝突回避システム内の通信回路により作り出すことができる。衝突回避システムは、レーダー・カバレッジ・エリア12内で検出されたターゲットからのターゲット検出情報を受信し、通信エリア14内の少なくとも1個の外部ディスプレイへターゲット検出情報を送信することができる。Wi-Fiカバレッジ・エリアはまた、ワイヤレス・ローカル・エリア・ネットワーク（WLAN）データリンクとして説明することができる。衝突回避システムは、Wi-Fi通信エリア14で、航空機10内部の外部ディスプレイや航空機10外部の他のディスプレイへ、信号を送信することができる。例えば、地上オペレーションの間に航空機10の案内を支援する1以上の安全性観察者又は「ウィング・ウォーカー（wing walker）」は、衝突回避システムからターゲット検出情報を受信できるディスプレイ・ユニットを携帯することができる。

20

【0012】

【0029】 衝突回避システムはまた、航空機をターミナルへ案内する際に支援するように、空港の旅客ゲートの近くに取り付けることができる。この地上走行の案内の例では、衝突回避システムは、無線又は有線の通信技術を用いて、ディスプレイ・デバイスなどのような他のデバイスと通信することができる。

30

【0013】

【0030】 衝突回避システムの他の例示の応用は、埃や雪が吹き上げられているときなどのような劣化視覚環境（degraded visual environment）（DVE）での衝突回避及び着陸支援のためにヘリコプターでを使用することを、含むことができる。無人航空機（UAV）は、衝突回避システムを含むことができる。衝突回避システムは、列車の操作者や鉄道交通管理者側へ障害物となり得るものを通知するために、列車や鉄道踏切に取り付けることができる。また、衝突回避システムは、船舶で、入港や出港のときや、水路や運河を通行しているときなどのような、操作が制限されているときに、案内のために用いることができる。船舶の衝突回避システムはまた、世界の特定のエリアにおいて海賊行為の危険性に面するときの早期の警告のために、使用することができる。本開示の技術は、主に航空機を参照して説明されるが、ここで説明される技術が航空機に限定されないことと、他のタイプのピークルや船舶や、静止した構造にも実装できることとを、理解すべきである。

40

【0014】

【0031】 図1Bは、航空機10の垂直スタビライザー16に取り付けられた衝突回避システムの例示の位置を更に詳細に示す概念図である。例示の衝突回避システムは、航空機10の垂直スタビライザー16に取り付けられた1以上の統合型レーダー・システムを含むことができる。例えば、統合型レーダー・システム18Lは、モノパルス・レーダー回

50

路、スロット付き導波管レーダー送信アンテナ、スロット付き導波管レーダー受信アンテナ、及び外部通信回路を含むことができる。幾つかの例では、衝突回避システムの様々なコンポーネントは、1つの統合されたパッケージに収容することができる。統合型レーダー・システム18Lは、航空機10の垂直スタビライザー16の最上部にある既存のレードームに取り付けることができる。本開示では、「スロット導波管」という用語と「スロット付き導波管」という用語とは、交換可能に用いられ得る。既存のレードームは、VHF全方位無線標識(VOR)ナビゲーション・アンテナにより用いられるレードームと同じものであり得る。衝突回避システムは、既存のレードームの左側と右側とに取り付けられる2個の統合型レーダー・システム18L及び18Rを含むことができ、これらは、航空機10の両側でカバレッジを提供することができ、そのカバレッジは、航空機10の両方の翼端を超えたカバレッジを含む。例えば、統合型レーダー・システム18L及び18Rは、図1Bに示すレーダー・カバレッジ・エリア12を提供することができる。

10

【0015】

[0032] 統合型レーダー・システム18Lは、航空機の垂直スタビライザーに含まれることができる他の構造を避けるように構成することができる。例えば、幾つかの垂直スタビライザーは、落雷保護システムの一部である導電ストリップを含み得る。また、幾つかの例では、垂直スタビライザーは、高周波数(HF)長距離通信アンテナなどのような1以上のアンテナを含み得る。そのような構造を妨害しないように構成され、また、それらの構造が統合型レーダー・システムの性能に干渉しないように構成された衝突回避システム及び統合型レーダー・システムは、他の例に勝る利点を有することができる。一例では、統合型レーダー・システム18Lは、高さが約4インチ(約101.6mm)であり、長さが約8インチ(約203.2mm)であり、厚さが約1インチ(約25.4mm)である(4"×8"×1"(約101.6mm×約203.2mm×約25.4mm))。UAVへ載せるなどのような他の例では、統合型レーダー・システム18は、更に小さいものとすることができる。

20

【0016】

[0033] また、統合型レーダー・システム18Lは、最小限の変更で、電力を、垂直スタビライザー内の既存の電力から引き出すように構成することができる。例えば、統合型レーダー・システム18Lは、垂直スタビライザー内に既に配されている既存のシステムから電力を引き出すように構成することができる。衝突回避システムは、地上走行中などのような地上オペレーションのときに最大の利点を有するので、地上でのみ使用される既存のシステムから電力を引き出す統合型レーダー・システム18は、他の例に勝る利点を有する。例えば、統合型レーダー・システムは、地上オペレーションの間にのみ使用される地上走行照明システムから電力を引き出すことができる。

30

【0017】

[0034] 図2Aは、本開示の1以上の技術に従った、衝突回避システムのコンポーネントとすることができる例示の統合型レーダー・システムの分解図を示す、概念及び組み立ての図である。図2は、例示の統合型レーダー・システム100を示し、これは、SIWTxアンテナと、保護用のカバー又はシールド104とを含むことができる。統合型レーダー・システム100は、例えば、図1Bに示す統合型レーダー・システム18L及び18Rと同じタイプの統合型レーダー・システムとすることができる。図2Aの例では、統合型レーダー・システムは、SIWアンテナ層102と1以上の回路層103とを含む多層印刷回路板(PCB)101として、実施される。回路層103は、8チャンネル受信機チップ108A-108D、アナログ-デジタル(A/D)変換器106A-106D、及び他の回路エレメントを含むことができる。アナログ-デジタル変換器は、「ADC」とも呼ばれる。

40

【0018】

[0035] 多層PCB101は、レーダー送信機電子装置、レーダー受信機電子装置、1以上のプロセッサ、通信用電子装置、電力の調節及び分配、クロック/タイマー、及び他の回路及びコンポーネントを実装する回路及びコンポーネントを含むことができる。1

50

以上のプロセッサは、レーダー送信機電子装置及びレーダー受信機電子装置を制御するように、及びレーダーのターゲットを処理及び識別し、通信用電子装置を用いて通知及び情報をユーザーへ送るように、構成することができる。プロセッサは、マイクロプロセッサ、コントローラ、デジタル信号プロセッサ(DSP)、特定用途向け集積回路(ASIC)、フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ(FPGA)、システム・オン・チップ(SOI)、又は同等の個別の又は統合された論理回路のうちの何れか1つ又は複数のものを、含むことができる。プロセッサは、集積回路、即ち、集積処理回路とすることができ、また、集積処理回路は、固定のハードウェアの処理回路、プログラマブルの処理回路、及び/又は固定とプログラマブルとの組み合わせの処理回路として、実現することができる。

10

【0019】

[0036] SIWアンテナ層102は、1以上の回路層103の回路の経路及びコンポーネントと電氣的に接続することができる。幾つかの例では、めっきされたバイアは、1以上の回路層103の間での、及びSIWアンテナ層102への接続を、提供することができる。バイアは、めっきされた又はめっきされていない孔とすることができ、これは、ドリルで又はエッチングで空けられるか、又は多層PCB101の層間に形成することができる。めっきされるバイアは、層を電氣的に接続するために、導電性の材料でめっきすることができる。導電性の材料の幾つかの例は、銅、はんだ、導電性エポキシ、又は他の材料を含むことができる。

【0020】

20

[0037] 保護シールド104は、例示の統合型レーダー・システム100を覆い、構造的サポートを提供する。保護シールド104は、成型されたプラスチック、打ち抜き又は成形されたシート状金属、又は他の適切な材料を含むことができる。保護シールド104は、電磁干渉(EMI)に対するシールドを提供するための1以上のエリアにおける導電性コーティングを含むことができる。保護シールド104は、電力、通信、又は他の接続のための貫通部(penetrations)を含むことができ、また、統合型レーダー・システム100をしっかりと取り付けるように構成することができる。

【0021】

[0038] 動作中、統合型レーダー・システム100は、1以上の回路層103のコンポーネント内で位相シフト・コマンドを部分的に用いることにより、受信したレーダー反射に関してのデジタル電子ビーム・ステアリングを提供することができる。レーダー送信アンテナと信号通信するレーダー送信機電子装置は、固定された幅の広いビーム照射(illumination)であるモノパルス・レーダー信号を出力、例えば、送信するように構成される。レーダー受信アンテナと信号通信するレーダー受信機電子装置は、照射された送信エリア内で走査する「ペンシル・ビーム」モノパルス受信パターンにより、反射したレーダー信号を探す。換言すると、この例の統合型レーダー・システム100は、周波数変調連続波(FMCW)デュアル・アンテナ・レーダー・システムであり、これは、送信において幅広ビーム照射を提供し、次に、幅広送信照射エリア内でのサーチを行うものである電子的に走査される受信ビームを提供する。FMCWレーダー信号は、非常に細密な分解能を提供し、非常に低い受信機帯域及び低いデータ・レートを許容する。これは、3つの次元の全てにおける分解能を含む。換言すると、統合型レーダー・システム100は、考えられ得る衝突の脅威のX、Y、Zの位置を突き止めることができる。ターゲットの高さの位置を見つけることは、誤った警告を低減することに関しての利点を有することができる。例えば、衝突回避システムは、翼の下を通過するが、翼やエンジン・ナセルや航空機の他の部分を危険にさらさない高さの物を、検出することができる。

30

40

【0022】

[0039] ベースバンド周波数でのデジタル電子ビーム・ステアリングは、無線周波数(RF)成分が少なくなるので、費用及び複雑性を低減する利点を提供する。デジタル電子ビーム・ステアリングはまた、複数の同時のビームを受信することも可能である。

【0023】

50

【0040】 一例では、統合型レーダー・システム100は、1KHzと2MHzとの間のベースバンドへのダウン・コンバージョンの前に、16MHz第1中間周波数(IF)を用いるヘテロダインFMCWレーダーを用いることができる。統合型レーダー・システム100は、送信アレイにおいてデュアル・ダイレクト・デジタル・シンセシス(DDS)を用いて、16MHzオフセットを適用することができる。ヘテロダイン・システムは、RF信号をベースバンドのゼロに近い周波数へと直接に変換するためにホモダイン受信機を用いる他のFMCWレーダーに勝る利点を、提供することができる。統合型レーダー・システム100は、16MHzを含む通過帯域を有するコンポーネントを含むことができる。それらのコンポーネントはまた、同時のベースバンドへのダウン・コンバージョン、I/Qチャンネル形成、及び4ビット位相シフトを、提供することができる。周波数ダウン・コンバージョンと共に多機能コンポーネントを用いることにより、統合型レーダー・システム100は、たとえホモダイン受信機が受信においてI/Qミキサーを使用したとしても、標準のホモダイン受信機に勝る利点を提供することができる。このように、統合型レーダー・システム100は、性能における利点を得ることができる。少数の例は、I/Q精度(真の90度オフセット)、4ビット位相シフト、微細な距離及び高さの分解能、低い受信機帯域、低いデータ・レート、小さいサイズ、軽量、低電力消費、統合されたパッケージ、及び既存のプラットフォームへの容易なレトロフィットを含む。

【0024】

【0041】 図2Bは、本開示の1以上の技術に従った、衝突回避システムのコンポーネントとすることができる例示の統合型レーダー・システムの送信用、受信用、及び通信用のアンテナを示す概念図である。図2Bは、図2Aに示すSIWアンテナ層102の放射用及び受信用の部分、を、より詳細に示す。SIWアンテナ層102は、Wi-Fiアンテナ120と、SIW受信機(Rx)アレイ122と、分離エリア124と、SIW送信(Tx)アンテナ126とを含むことができる。SIW Rxアレイ122は、1以上のレーダー受信機アンテナ・サブアレイ132A-132Dを含むことができる。各サブアレイは、SIWアンテナ・デバイス130を含むことができる。図2Bの例では、サブアレイ132A-132Dのそれぞれは、8個のSIWアンテナ・デバイス130を含む。明瞭にするために、図2Bでは、アンテナ・デバイス130のみに番号を付けて示している。SIWアンテナ・デバイス130はまた、スロット付き導波管アンテナ・デバイスとも呼ばれる。従って、SIW Rxアレイ122は、スロット付き導波管レーダー受信アンテナと考えることができる。SIW Txアンテナ126は、スロット付き導波管レーダー送信アンテナと考えることができる。

【0025】

【0042】 SIW Txアンテナ126は、1以上のSIW Txアンテナ・デバイス134A及び134B(まとめて、SIW Txアンテナ・デバイス134)を含むことができる。各SIW Txアンテナ・デバイス134は、その構成及び機能がSIWアンテナ・デバイス130と似たものとすることができる。SIW Txアンテナ126(又はスロット付き導波管レーダー送信アンテナ)は、レーダー送信機電子装置と信号通信することができる。レーダー送信機電子装置は、スロット付き導波管レーダー送信アンテナと共になり、レーダー信号を所定のカバレッジ・エリアへ出力するように構成することができる。所定のカバレッジ・エリアは、図1Aのレーダー・カバレッジ・エリア12と似たものとすることができる。本開示では、レーダー送信電子装置という用語とレーダー送信機電子装置という用語とは交換可能に用いられ得る。

【0026】

【0043】 SIW Rxアレイ122(又はスロット付き導波管レーダー受信アンテナ)は、レーダー受信機電子装置と信号通信することができる。レーダー受信機電子装置は、出力されたレーダー信号に対応するレーダー反射をレーダー受信アンテナから受け取るように構成されるデジタル・ビーム形成回路を、含むことができる。出力されたレーダー信号は、所定のカバレッジ・エリアに存在する物で反射し得る。レーダー受信機電子装置は、所定のカバレッジ・エリアに存在する物からの反射信号について、1以上のプロセッサ

ーへ情報を送信することができる。1以上のプロセッサは、第1カバーレージ・エリアから受信したレーダー反射に応答して通知を作成するように、構成することができる。

【0027】

[0044] 分離エリア124は、SIW T xアンテナ126から来る出力されたレーダー信号を、SIW R xアレイ122との干渉から分離するために、用いることができる。分離エリア124は、統合型レーダー・システム100の適切な機能を確実なものとするための寸法を有するようにし、そのための材料から構成することができる。例えば、分離エリア124は、電子バンド・ギャップ構造や吸収性構造などのような構造とすることができる。寸法及び/又は材料は、統合型レーダー・システム100の動作周波数に応じて様々なものとなり得る。

10

【0028】

[0045] Wi-Fiアンテナ120は、ワイヤレス・ローカル・エリア・ネットワーク(WLAN)を用いての通信に用いる信号を送信及び受信するように、構成することができる。Wi-Fiアンテナ120は、統合型レーダー・システム100内の1以上のプロセッサから情報を受信するように構成された、統合型レーダー・システム100内の電子通信回路と、通信するように結合することができる。例えば、電子通信回路は、多層PCB101の一部とすることができる。電子通信回路は、Wi-Fiアンテナ120と共に、統合型レーダー・システム100の外部のディスプレイ・ユニット又は他のユニットと通信するように、構成することができる。外部ディスプレイ・ユニットの幾つかの例は、タブレット・コンピューターや手持ち型のモバイル・デバイスを含むことができる。

20

【0029】

[0046] 図3Aは、本開示の1以上の技術に従った、例示のSIWエレメントを示す三次元図である。SIWエレメント131は、図2Bに示すSIWアンテナ・デバイス130のコンポーネントとすることができる。SIWエレメント131は、放射用スロット層140、第1SIW部142、接地層144、及び第2SIW部150を含むことができる。SIWエレメント131は、第1波長(A_g)の第1無線周波数(RF)エネルギーで動作するように構成することができ、 A_g は、SIW材料の内部の第1RFエネルギーの波長であり、 A は、自由空間における第1RFエネルギーの波長である。

【0030】

30

[0047] 第1SIW部142は、2以上のバイア152の行を含むことができる。各バイアは、めっきされたバイア、即ち、各バイアの内面が銅などのような導電性材料でめっきされたものとすることができる。バイアの寸法及び放射用スロット層140のスロットとの間隔及び関係は、後に図3Dで詳細に説明する。

【0031】

[0048] 放射用スロット層140は、各SIWの第1層を形成することができ、各バイア152により貫通されずに各バイア152と電氣的に接続することができる。放射用スロット層140は、スロットの行141に配された複数のスロットを含むことができる。スロットの行141は、バイア152の行と平行に且つバイアの各行の間に、配することができる。複数のスロットの各スロットは、放射用スロット層140を貫通するものであり得る。接地層144は、第1SIW部の第2層を形成することができ、各バイア152により貫通されずに各バイア152と電氣的に接続することができる。従って、接地層144は、放射用スロット層140と電氣的に接続することができる。

40

【0032】

[0049] 第2SIW部150は、2以上のバイア152Aの行と、マイクロストリップ変換器(transition)148を含むことができる。第2SIW部150は、接地層144に接着することができる。バイア152Aは、接地層144を貫通せずに接地層144と電氣的に接続することができる。従って、バイア152A、バイア152、接地層144、及び放射用スロット層140は、電氣的に接続される。更に、バイア152A及びバイア152は、その孔が接地層144などのような金属層と接続されるが金属層を貫通しな

50

いという点で、「止まり穴」と考えることができる。従って、様々な層のバイアは、垂直に重なるように構成することができる。換言すると、バイアは、互いに物理的に接続しないが互いに整列するように、構成することができる。この配置は、様々な応用において利点を有することができるが、その理由は、例えば、この配置が回路のレイアウトに関する柔軟性を提供するからである。第1 S I W部142と第2 S I W部150との双方は、1以上のボンドブライ(bondply)層を含むことができる。

【0033】

[0050] マイクロストリップ変換器148は、信号周波数に応じた特定の寸法及び形状を有することができる。マイクロストリップ変換器148は、マイクロストリップ変換器148が結合スロット146に刺激を与えるように、結合スロット146と関連して配置

10

【0034】

[0051] 結合スロット146は、接地層144を貫通することができる。結合スロット146は、第1 S I W部142を第2 S I W部150に接続することができる。幾つかの例では、S I Wエレメント131は、受信エレメントである。放射用スロット層140へ突き当たる反射レーダー信号は、第1 S I W部142へ貫通することができる。第1 S I W部142は、反射したレーダー信号からの何れの受信したR Fエネルギーも、結合スロット146へ案内することができる。結合スロット146は、R Fエネルギーを、更に第2 S I W部150へ結合することができる。他の例では、S I Wエレメント131は、送信エレメントである。第2 S I W部150は、レーダー送信機電子装置からR Fエネルギーを受け取り、そのR Fエネルギーを、結合スロット146を通じて第1 S I W部142へ結合することができる。

20

【0035】

[0052] ターミナル・エッジ154は、第2 S I W部150、接地層144、及び第1 S I W部142を貫通するものであり得る。図3Aの例は、ターミナル・エッジ154を、層間を通るスロットとして示している。この例では、スロットは、銅などのような導電性材料でめっきすることができる。ターミナル・エッジ154の長い縁部は、バイア152の行に対して垂直となるようにすることができる。ターミナル・エッジ154は、放射用スロット層140を貫通せずに放射用スロット層140と電氣的に接続することができる。従って、ターミナル・エッジ154は、放射用スロット層140を接地層144

30

【0036】

[0053] S I Wは、上部及び下部の導波管表面に関しては、銅クラッドP C Bで構成することができる。導波管体積に関しては、P C Bの誘電体、そして導波管壁部に関しては、めっきされたバイア(別名は孔)で、構成することができる。換言すると、S I Wは、基板内に導波管を作る送信ラインである。その導波管は、矩形の導波管の壁部としての2列の孔のラインと、矩形キャビティを形成するための上部と下部との金属層とから構成される。S I W導波管は、(a)基板と、(b)孔間のギャップと、(c)金属層と基板との間の面の粗さとが原因で、アルミニウムの導波管よりも高い挿入損失に苦しむ。しかし、これは、一般に4アンテナ・ビームを必要とするモノパルス・レーダーなどのようなレーダー・システムの開発の際に、多くの利点を生じさせる。幾つかの利点は、S I Wでは矩形の導波管を非常に薄く且つ軽くできるということを含み、これは、その重量が低く慣性モーメントが相対的に小さいので、多くの機械的にステアリングされるアンテナに役立つ。S I Wアンテナは、P C B版のスロット付き導波管アンテナである。S I Wアンテナは、アルミニウムから作られるスロット付き導波管アンテナなどのような他のタイプのスロット付き導波管アンテナに勝る利点を有することができる。例えば、S I W構造において満たされた基板は、より多くのスロットを1つのブランチへ配することを可能にし、それにより、S I Wアンテナ・アレイは、隙間の小さい狭いビーム幅を提供することができ、

40

50

これは多くの応用において有益である。

【 0 0 3 7 】

[0054] S I Wモノパルス・アンテナ・アレイの幾つかの例は、多くの困難を有し得る。それらは、スロット間での強い相互結合、レイアウト及び位置決めの困難性、等価導波管内波長 (equivalent guide wavelength) の概算の複雑性、及び一貫性のある製造の困難性、及び他の困難性を含み得る。本開示の技術を用いる S I Wアンテナは、高度に統合され、高度にシールドされ、製造が容易で、信頼性のある S I Wモノパルス・アンテナ・アレイとなることができる。

【 0 0 3 8 】

[0055] 図 3 B は、各チャンネルのための分離したミキサーを持つ例示のスロット導波管アンテナ・アレイ・システムのセクションを示す。図 3 B は、例示の S I Wエレメント 1 3 1 を、統合型スロット導波管アンテナ・アレイ・システムの一部とすることができる追加のコンポーネントと共に示す。図 3 A に示すように、S I Wエレメント 1 3 1 は、放射用スロット層 1 4 0、第 1 S I W部 1 4 2、及び第 2 S I W部 1 5 0 を含むことができる。接地層 1 4 4 などのような S I Wエレメント 1 3 1 の他のコンポーネントは、明瞭化のために省略している。図 3 B は、ミキサー 1 6 4 及び第 3 S I W部 1 5 8 を含む追加のエレメントを示す。図 3 B はまた、例示の S I Wアンテナ・デバイスの例示の断面 1 6 0 と、アンテナ・サブアレイ・レイアウト 1 6 2 とを示す。例示の断面 1 6 0 は、放射用スロット層 1 4 0、第 1 S I W部 1 4 2、接地層 1 4 4、信号層、及び追加の基板及び接地層を示す。例示の断面 1 6 0 は、4 層 P C B を示し、これはスロット層、接地層、信号層、及び第 2 接地層を有し、基板はそれぞれの金属層の間にある。他の例では、断面 1 6 0 は、3 層、5 層、又はそれより多い層を示すものとなり得る。

【 0 0 3 9 】

[0056] アンテナ・サブアレイ・レイアウト 1 6 2 は、図 2 B に示す S I Wアンテナ・デバイス 1 3 0 と似た 8 個の S I Wアンテナ・デバイスを含むことができる。各 S I Wアンテナ・デバイスは、個別のレーダー・チャンネルに専用のものとしてすることができる。アンテナ・サブアレイ・レイアウト 1 6 2 はまた、それぞれのデバイス / チャンネルに対するミキサー 1 6 4 A と、8 ウェイ・パワー分割器 (P D) 1 7 6 とを含むことができる。アンテナ・サブアレイ・レイアウト 1 6 2 の例は、断面 1 6 0 に示すように、8 ウェイ・パワー分割器 1 7 6 を、1 つの層にレイアウトされたものとして示す。8 ウェイ・パワー分割器 1 7 6 は、ローカル発振器 (L O) からの各経路長が同じ長さになるように構成することができる。これは、電圧制御発振器 (V C O) などのような L O からの信号が同じパルスで同じ時間に各ミキサー 1 6 4 A に到達することを、保証することができる。

【 0 0 4 0 】

[0057] 第 3 S I W部 1 5 8 は、パイア 1 5 2 C と、2 個のマイクロストリップ変換器 1 4 8 A 及び 1 4 8 B とを含むことができる。パイア 1 5 2 C は、パイア 1 5 2 とは直径及び間隔が異なるものとしてことができ、第 1 S I W部及び第 2 S I W部により用いられる R F エネルギーとは異なる R F エネルギーで動作するように構成することができる。第 3 S I W部 1 5 8 は、異なる波長及び周波数の R F エネルギーで動作するように構成することができる。第 3 S I W部 1 5 8 は、ミキサー 1 6 4 を、アンテナ・サブアレイ・レイアウト 1 6 2 に示す 8 ウェイ・パワー分割器 1 7 6 へ接続することができる。第 3 S I W部 1 5 8 のエリアは、信号転送エリア 1 6 5 のための場所を提供することができる。信号転送エリア 1 6 5 は、ミキサー 1 6 4 の出力、制御信号、及び他の信号などのような信号を搬送することができる。信号転送エリア 1 6 5 はまた、信号転送エリア 1 6 5 の信号トレースにより搬送される信号と相互に作用することができる電子コンポーネントを含むことができる。図 3 B に示していない一例では、ミキサー 1 6 4 の出力は、パイア 1 5 2 や 1 5 2 A や 1 5 2 C とは異なる別個の導電性パイアを用いて信号転送エリアへ到達することができる。図 3 B の例では、パワー分割器は、他の例で見られ得るように、導波管ではなく、多層 P C B 1 0 1 の金属層上にある。金属層上のパワー分割器は、費用、製造性、及び信頼性についての利点を提供することができ、また、レーダー・システムのための小

型化を可能にする。

【 0 0 4 1 】

[0058] 図 3 C は、4 チャンネル・ミキサーと、ミキサーをパワー分割器及びローカル発振器 (L O) に接続する 1 個の S I W 部とを持つ例示のスロット導波管アンテナ・アレイ・システムのセクションを示す。各チャンネルに対する個別のミキサーに代えて、図 3 C の例が 4 チャンネル・ミキサー 1 7 2 及び 1 7 2 A を示しているところを除いて、図 3 C は図 3 B と似ている。図 3 C はまた、アンテナ・サブアレイ・レイアウト 1 6 2 と類似であり、8 個のデバイス / チャンネルを持つ例示のアンテナ・サブアレイ・レイアウト 1 7 0 を示すが、図 3 C の例は、L O を 2 個の 4 チャンネル・ミキサー・コンポーネントに接続し、従って 2 ウェイ P D を必要とするのみであることが異なる。図 3 C に示す 2 ウェイ P D は、図 3 B の 8 ウェイ P D 1 7 6 と同様に、ローカル発振器 (L O) をミキサー 1 7 2 へ接続するように動作する。図 3 C の例は少ない数のミキサー及び少ない数の P D 回路トレースを含むので、追加のコンポーネントのために第 3 S I W 部 1 6 8 の上及び下の層により多くのスペースを、及び / 又は追加の回路トレースやコンポーネントのためにスペースを、許容することができる。換言すると、S I W エlement 1 7 4 A 及び 1 7 4 B を含むことができる第 3 S I W 部 1 6 8 は、類似の第 3 S I W 部 1 5 8 よりも大きくすることができるので、信号転送エリア 1 6 5 A は、類似の信号転送エリア 1 6 5 よりも大きくすることができる。これは、例えば、ハードウェア・コンポーネント領域 1 6 6 において、コンポーネントのための又は信号を搬送するトレースのための追加のスペースを、許容することができる。「回路トレース」という用語、「トレース」という用語、及び「回路経路」という用語は、本開示では交換可能に使用され得る。

【 0 0 4 2 】

[0059] 図 3 B に示す 8 ウェイ・パワー分割器 1 7 6 のレイアウトと同様に、図 3 C は、等しい長さの経路を持つ例示の 2 ウェイ・パワー分割器 1 7 6 A を示す。これは、V C O などのような L O からの信号が、同時に同じパルスで各ミキサー 1 7 2 A に到達することを保証することができる。

【 0 0 4 3 】

[0060] 図 3 D は、本開示の 1 以上の技術に従った、寸法及び間隔を示す、例示の S I W エlement の二次元図である。図 3 D は、めっきされたバイア又は孔の行 1 5 2 D により定められる S I W を示す。この開示では、孔、めっきされた孔、バイア、及びめっきされたバイアは、特に指定されないかぎり、交換可能に用いられ得る。図 3 D は、各行の隣接する孔の中心線間の間隔を実質的に等しく定めており、この実質的に等しいとは、製造許容誤差内で等しいということの意味する。換言すると、同じ行の隣接する孔の間隔は、等しいか、又は製造における任意の変動値を加算又は減算したものである。例えば、S I W パワー分割器 1 9 0 において示すように、 $d_1 = d_2$ である。S I W パワー分割器 1 9 0 は、上記の 8 ウェイ P D 1 7 6 及び 2 ウェイ P D 1 7 6 A とは異なることに留意されたい。S I W パワー分割器 1 9 0 は、S I W 材料及び構成で実装されるパワー分割器である。上記の 8 ウェイ P D 及び 2 ウェイ P D は、回路層の上又は 1 つの層の上に実装され、金属又は他の導電性材料で作られる。S I W パワー分割器 1 9 0 は、本開示の技術に従った S I W レイアウトの別の例である。S I W パワー分割器 1 9 0 は、図 3 ないし図 3 C には示していない。

【 0 0 4 4 】

[0061] 孔の中心線 d_1 と d_2 との間の等距離は、式「 $N \times d = (1/4) \quad g$ 」に従って $1/4$ 等価導波管内波長で均等に分割することができる。図 3 D の例では、等しい孔の間隔は、「 $(1/8) \quad g$ 」と定義することができる。換言すると、バイアの間隔は、R F エネルギーの特定の波長 / 周波数に関して動作するように選択することができる。従って、バイア 1 5 2 D の各行について、バイアの第 1 行の各バイアの中心線を、バイアの第 1 行の隣接するバイアの中心線から「 $(1/8) \quad A \quad g$ 」離れるようにすることができる。同様に、バイアの第 2 行の各バイアの中心線を、バイアの第 2 行の隣接するバイアの中心線から「 $(1/8) \quad A \quad g$ 」離れるようにすることができる。

【 0 0 4 5 】

[0062] 図 3 D の例は、S I W 導波管の幅 (a) を、式「 $a = (2 n) \times d$ 」に従って、各行のバイアの中心線間の等距離 (d) の偶数倍として定める。例えば、 $n = 3$ を選択すると、S I W の幅「 $a = 6 d$ 」(1 8 2) となる。S I W の幅「 $a = 6 d$ 」を選択すると、S I W パワー分割器 1 9 0 において示すように、孔 1 8 3 が短い縁部の中央となる。これは、性能において他の選択に勝る利点を有することができる。図 3 D に示すように、バイアの第 1 行は、バイアの第 2 行と実質的に平行であり、バイアの第 1 行の中心線は、バイアの第 2 行の中心線から「 $(3 / 4) A \quad g = 6 d$ 」(1 8 2) 離れている。ここにおいて、実質的に平行とは、製造許容誤差内で平行であることを意味する。換言すると、第 1 行の中心線は、第 2 行の中心線と平行であるか、又は製造における任意の変動値を加算又は減算した範囲にある。

10

【 0 0 4 6 】

[0063] 変動値及び許容誤差は、本開示の全体において適用される。例えば、先に「 $a = 6 d$ 」と記載した S I W 幅 1 8 2 は、「 $a = 6 d \pm$ 製造又は他のソースからの許容誤差」を意味すると理解すべきである。

【 0 0 4 7 】

[0064] 図 3 D はまた、放射用スロットの行を示す。放射用スロットの行の各放射用スロットの長さ、間隔、及び位置を選択することにより、即ち、各「 $1 / 2 \quad g$ 」(1 8 1) あたり 4 個の孔とすることを繰り返すことにより、各スロットの周りの反射を同じとすることができる。図 3 D は、放射用スロットの行における最終の放射用スロット 1 8 4 A - 1 8 4 C を示す。換言すると、各放射用スロットが同じ長さ及び間隔を有するように選択し、かつ 1 8 4 C などのような最終の放射用スロットの長い縁の中心線がターミナル・エッジ 1 8 6 C から「 $(1 / 4) A \quad g$ 」のところにるように配置することにより、各放射用スロットの各側のめっきされたバイアからの 4 間隔 (4 d) 反射ゾーンが得られる。図 3 D は、この 4 間隔反射ゾーンを項目 1 8 1 で示し、これは、4 d、例えば、放射用スロットに沿った中心線から中心線までの、孔間の 4 つの等しいスペースを示す。

20

【 0 0 4 8 】

[0065] 同様に、ターミナル・エッジ 1 8 6 A (バイアの行) 及び 1 8 6 B (めっきされたスロット) の代替例に関して、最終の放射用スロットの長い縁の中心線がターミナル・エッジから「 $(1 / 4) A \quad g$ 」(1 8 8) のところにるように最終の放射用スロット 1 8 4 A 及び 1 8 4 B を配置することにより、放射用スロットに対する 4 間隔反射ゾーンが得られる。1 8 6 A で示されるバイアの行のターミナル・エッジは、寸法と波長とが正確に一致しない場合、誤差を生じさせる。なぜなら、最後のスロットの中心からバイアの行の「縁」までの等価距離が、「 $(1 / 4) \quad g$ 」よりも実際に小さいからである。ミリ波周波数帯域では、これは望ましくない結果を生じさせる原因となり得る。幾つかの例では、めっきされたスロット (1 8 6 B) 又はエッジめっき部 (1 8 6 C) は、1 8 6 A で示すバイアの行に勝る利点を有することができる。本開示の技術に従った S I W スロット導波管アンテナは、一貫性及び信頼性のある S I W の設計及び性能のための利点を有することができる。

30

【 0 0 4 9 】

[0066] 図 3 E は、例示の S I W パワー分割器の三次元図である。図 3 E は、例示の S I W パワー分割器 1 9 0 を示し、これは、図 3 D に示す S I W パワー分割器 1 9 0 と同じように構成される。図 3 E に示す例示の S I W パワー分割器 1 9 0 は、バイア 1 5 2 D を含み、S I W 幅「 $a = 6 d$ 」(1 8 2) であり、これにより孔 1 8 3 が短い縁部の中央となる。図 3 E はまた、3 個のマイクロストリップ変換器を示すが、明瞭化のために、マイクロストリップ変換器 1 4 8 C のみにラベル付けしている。図 3 E は、S I W パワー分割器の例示のインプリメンテーションの三次元図を示す。S I W パワー分割器は、パワー分割器 1 7 6 及び 1 7 6 A とは区別されるが、その区別される点は、パワー分割器 1 7 6 及び 1 7 6 A が例示の多層 P C B 1 0 1 の回路層に実装され得るが、S I W パワー分割器 1 9 0 は S I W 層に実装され得るということである。

40

50

【 0 0 5 0 】

[0067] 図 3 F は、本開示の 1 以上の技術に従った、スロットとマイクロストリップとを結合するたの寸法を示す、例示のスロット導波管アンテナ・アレイ・システムの二次元図である。各チャンネルは結合スロット 1 4 6 E を有することができる。結合用スロット 1 4 6 E のスロットの短い縁の中心線からターミナル・エッジ 1 5 4 E までの距離は、下記の式により得ることができる。

$$D_c = (n / 2) \quad g \quad (n = 1, 2, 3, \dots, N)$$

図 3 F の例は、ターミナル・エッジ 1 5 4 E を、めっきされたスロットとして示す。マイクロストリップ変換器 1 4 8 E とターミナル・エッジ 1 5 4 E との間の距離は、下記の式に従って得ることができる。

$$D_T = ((n + 1) / 2) \quad g \quad (n = 1, 2, 3, \dots, N)$$

【 0 0 5 1 】

[0068] デジタル・アクティブ・フェーズド・アレイに関して、 D_c 及び D_T が長くなると、 D_c 及び D_T が短い場合よりも高い挿入損失に苦しむ。しかし、 D_c 及び D_T が大きい場合、他の層に追加のコンポーネントを配するための追加のスペースを提供する。換言すると、「 $n > 1$ 」は、追加のコンポーネントのための、より多くのスペースを提供する。図 3 F の例は、挿入損失を最小にするための「 $n = 1$ 」を示し、その結果は「 $D_c = g / 2$ 」及び「 $D_T = g$ 」である。本開示の技術に従った結合スロットの位置及びマイクロストリップの位置を伴う S I W スロット導波管アンテナは、一貫性及び信頼性のある S I W の設計及び性能のための利点を有することができる。レイアウト及び恩恵（（2 $n - 1$ ）/ $N - 1$ 結合）は、損失とバック回路（back circuit）のための十分なエリアとのバランスをとる。図 3 F の例で示すように、各 S I W エLEMENT のターミナルは、図 3 D に示すように、多くのパイア又は孔（1 8 6 A）ではなく、1 個のめっきされたスロット孔を用いて、接地層、例えば、接地層 1 4 4 へ接続する。

【 0 0 5 2 】

[0069] 図 3 G は、導波管層、信号層、及びコンポーネント層を統合することができる例示の多層 P C B の三次元図と断面図とを組み合わせた図である。図 3 G は、第 1 S I W 部 1 4 2 B と第 3 S I W 部 1 5 8 B との例示の断面図 1 9 5 と三次元図とを含む。図 3 G の例では、第 1 S I W 部 1 4 2 B 及び第 3 S I W 部 1 5 8 B は、図 3 B に示す例示の第 1 S I W 部 1 4 2 及び第 3 S I W 部 1 5 8 と同じように構成される。

【 0 0 5 3 】

[0070] 断面図 1 9 5 は、基板層 1 9 6 A - 1 9 6 D を含み、また、明瞭化のためにラベル付けしていないが、図 3 B で説明した金属層、例えば、スロット層、接地層、信号層、及び第 2 接地層を含む。断面図 1 9 5 で示された例示の多層 P C B の部分は、R F フロント・エンド 1 9 8、パイア 1 5 2 C を伴う第 3 S I W 部 1 5 8 A、パイア 1 5 2 を伴う第 1 S I W 部 1 4 2 A、及び放射用スロット層 1 4 0 を含む。パイア及び放射用スロット層 1 4 0 は、図 3 G の例では、図 3 B の例及び上述の他の図におけるものと同じように構成される。結合スロット 1 4 6 B は、第 1 S I W 部 1 4 2 A を基板層 2（1 9 6 B）へ接続する。幾つかの例では、多層 P C B 1 0 1 は、他の層間に追加の結合スロットを含むことができる。マイクロストリップ変換器 1 4 8 D 及び 1 4 8 E は、S I W と信号層との間の接続を提供し、上述のマイクロストリップ変換器 1 4 8 と同じように機能する。

【 0 0 5 4 】

[0071] 図 4 は、本開示の 1 以上の技術に従った、スロット導波管アンテナ・アレイ・システムを用いる例示の統合型モノパルス・レーダー・システムを示す概念的かつ概略的なブロック図である。図 4 は、S I W $R \times$ アレイ・ELEMENT 2 0 0 及び S I W $T \times$ アレイ 2 0 2 を示し、これらは図 2 B に示す S I W $R \times$ アレイ 1 2 2 及び S I W $T \times$ アンテナ 1 2 6 と似たように機能する。 $R \times$ ミキサ 2 0 4 は、図 3 B からのミキサ 1 6 4 と似た動作を行う。基準信号 2 1 8 は、ローカル発振器（L O）信号とすることができる。これは、図 3 B に示す類似の 8 ウェイ分割器を通過することができる。受信機 I C 2 0 6 及び A D C 2 1 2 A - 2 1 2 D は、図 2 A に示す受信機チップ 1 0 8 A - 1 0 8 D 及

10

20

30

40

50

びA/D変換器106A-106Bと類似のものとすることができる。受信機IC206の特徴の幾つかを実施することができる例示のコンポーネントは、AD9670 オクタル・ウルトラサウンド (Octal Ultrasound) ・アナログ・フロント・エンド (AFE) 受信機を含むことができ、これについては後に詳細に説明する。

【0055】

[0072] Rxミキサー204は、SIW Rxアレイ・エレメント200から入力を受け取り、デジタル・シンセサイザー送信機216から基準信号218を受け取り、SIW Rxアレイ・エレメント200により受け取った反射レーダー信号をダウンコンバートすることができる。Rxミキサー204は、ダウンコンバートされたレーダー受信信号を、個々の受信チャンネルのための個々の受信機集積回路(IC)206へ出力することができる。受信機IC206は、個々の受信チャンネルのための個々の信号を、図4の例で示すADC212Cなどのような個々のADCへ、出力することができる。

【0056】

[0073] FPGAプロセッサ及びコントローラ214(「FPGA214」)は、デジタル化された信号を、様々な受信チャンネルADC212A-212Cから受信することができる。FPGA214は、デジタル受信ビーム・ステアリング、ターゲットの検出の処理及び分析の機能を行うことができ、ターゲット情報を外部通信システムへ送って、1以上のディスプレイ・システムへ更に送られるようにすることができる。例えば、FPGA214は、レーダー送信機電子装置を制御することができ、これは、SIWレーダー送信アレイ202と共にあってレーダー信号を出力するように構成される。レーダー送信機電子装置は、デジタル・シンセサイザー送信機216を含むことができる

【0057】

[0074] FPGA214はまた、レーダー受信機電子装置を制御することができ、これは、Rxミキサー204、4個の受信機集積回路(IC)206、加算増幅器210、及びADC212A-212Dを含むことができる。レーダー受信機電子装置は、デジタル・ビーム形成回路を含むことができ、これは、出力されたレーダー信号に対応するレーダー反射を受信するように、及びレーダー反射に関連する信号をFPGA214へ送信するように構成される。SIW Rxアレイ・エレメント200は、レーダー受信アンテナとして動作し、そのスロット層の表面へ突き当たるレーダー反射を収集する。SIW Rxアレイ・エレメント200は、図2Bに示すように、SIW Rxアレイ122内のサブアレイ132Aの1個のSIWアンテナ・デバイス130とすることができる。レーダー受信電子装置という用語とレーダー受信機電子装置という用語とは、本開示では交換可能に用いられ得る。

【0058】

[0075] FPGA214及びデジタル・シンセサイザー送信機216は、受け取ったレーダー信号を、更なる処理のために低い周波数へと変換する回路を含むことができる。更なる処理は、ビーム・ステアリング、ターゲットの検出及び位置判定、及び他の機能を含むことができる。FPGA214及びデジタル・シンセサイザー送信機216により行われる他のタイプの機能は、同位相及び直角位相の処理(I及びQ)、フィルタ処理、周波数、位相、及び振幅の制御、変調、ダイレクト・デジタル合成(DDS)、及び他の機能を含むことができる。デジタル・ビーム形成は、ヘテロダイン処理を含むことができる。デジタル・ビーム形成回路は、超音波周波数範囲で動作するように構成することができる。

【0059】

[0076] 図5Aは、障害物衝突回避システムで用いることができる例示のレーダー受信チャンネル及びレーダー送信機電子装置の概念的かつ概略的なブロック図である。図5Aの例示の図は、1個の受信チャンネルと、RF周波数から他の周波数までのスーパーヘテロダイン・アップ・コンバージョン及びダウン・コンバージョンの例示のインプリメンテーションとを示す。衝突回避システムの一部であり得る他の受信チャンネルは、明瞭化するために、図5Aには示していない。

【 0 0 6 0 】

[0077] 図 5 A は、図 4 に示すスロット導波管アンテナ・アレイを用いる統合型レーダー・システム 1 0 0 の幾つかの部分の追加の詳細部分を含む。図 5 A は、図 4 に示す S I W R x アレイ・エレメント 2 0 0 と、S I W T x アレイ 2 0 2 と、R x ミキサー 2 0 4 とを含むことができる。図 5 A に示す追加のコンポーネントは、F P G A プロセッサ及びコントローラー 2 1 4、デジタル・シンセサイザー送信機 2 1 6、及び受信機 I C 2 0 6 に含まれることができる。図 5 A は、V C O 3 0 0、ローカル発振器 (L O) フィード・ネットワーク 3 0 2、及び他の受信チャンネル 3 0 4 を、同位相及び直角位相 (I 及び Q) ユニット 3 0 6、ロー・パス・フィルタ (L P F) 3 0 8 及び 3 1 2、及びアナログ・デジタル変換器 3 1 0 及び 3 1 4 と共に示す。他のレーダー電子装置は、F P G A 2 1 4 A、シンセサイザー 3 2 2、1 2 8 M H z マスター・クロック 3 2 4、周波数分割器 3 2 6、デュアル・デジタル・ダイレクト合成 (D D S) ユニット 3 2 8、I / Q 単側波帯 (S S B) ミキサー 3 3 0、及び増幅器 3 3 2 を含むことができる。また、W i - F i システム 3 2 0 は、F P G A 2 1 4 A から情報を受け取ることができる。

10

【 0 0 6 1 】

[0078] 図 5 A に示すレーダー受信機電子装置は、S I W R x アレイ・エレメント 2 0 0 からの受信レーダー信号を、中間周波数 (I F) 1 6 M H z (3 4 1) へ、及び受信ビーム・ステアリングを含み得る更なる処理のために、より低い周波数へダウンコンバートする。レーダー送信機電子装置は、広い方位角及び狭い仰角の R F エネルギーを、送信 (T x) アレイ 2 0 2 を通して送信することができる。

20

【 0 0 6 2 】

[0079] 図 5 A の例で示される V C O 3 0 0 は、2 4 G H z 信号を生成し、これは、L O フィード・ネットワーク 3 0 2 へ配信され、更に R x ミキサー 2 0 4 へ配信される。L O フィード・ネットワーク 3 0 2 は、例えば、図 3 B や図 3 C に示す 8 ウェイ・パワー分割器 1 7 6 や 2 ウェイパワー分割器 1 7 6 A として機能することができる。V C O 3 0 0 はまた、2 4 G H z を I / Q S S B ミキサー 3 3 0 へ配信する。V C O 3 0 0 は、シンセサイザー 3 2 2 から入力を受け取ることができる。2 4 G H z が一例として示されている。他の例では、V C O 3 0 0 は、1 3 G H z などのような他の周波数を生成することができる。

【 0 0 6 3 】

[0080] L O フィード・ネットワーク 3 0 2 は、2 4 . 0 G H z L O 信号を、他の受信チャンネル 3 0 4 及び R x ミキサー 2 0 4 へ出力することができる。この R x ミキサー 2 0 4 は、図 4 に示す R x ミキサー 2 0 4 と同じように機能する。図 5 A の例では、R x ミキサー 2 0 4 は、S I W R x アレイ・エレメント 2 0 0 からの 2 4 . 0 1 6 G H z 反射レーダー信号を、1 6 M H z の中間周波数 (I F) (3 4 0) へと変換する。これらの周波数の値は、単なる例示である。統合型レーダー・システム 1 0 0 はまた、他の周波数を用いることができる。R x ミキサー 2 0 4 は、1 6 M H z の I F (3 4 0) を I 及び Q ユニット 3 0 6 へ出力することができる。

30

【 0 0 6 4 】

[0081] シンセサイザー 3 2 2 は、デジタル P L L シンセサイザー内で分割比を変更する方法を用い、比較周波数の整数倍ではない周波数を提供することができる。分割器は、分割比間で交互に変えることにより、整数比ではなくフラクショナル分割比 (fractional division ratio) を用いることができる。一例は、基本的デジタル P L L ループを用いるフラクショナル N シンセサイザーを含むことができる。アナログ・デバイス (A n a l o g D e v i c e s) のコンポーネント A D F 1 4 5 9、ダイレクト・モジュレーション・フラクショナル N 周波数シンセサイザーは、フラクショナル N シンセサイザーの一例である。しかし、幾つかの例では、フラクショナル N シンセサイザーは、受信機において偽のターゲットとして現れるスプリアス信号を生成し得る。シンセサイザー 3 2 2 の他の例は、フラクショナル N シンセサイザーに勝る利点を有し得るダイレクト・デジタル・シンセサイザーを含むことができる。

40

50

【 0 0 6 5 】

[0082] 周波数合成は、様々な形のダイレクト・デジタル・シンセサイザー、フェーズ・ロック・ループ、周波数通倍器、及び他の方法を用いることができる。シンセサイザー 3 2 2 は、線形の F M C W 波形を生成し、また、F P G A 2 1 4 A から制御及び他の入力を受け取ることができる。

【 0 0 6 6 】

[0083] I 及び Q ユニット 3 0 6 は、同位相及び直角位相の機能と共に、位相シフト機能を含むことができる。モノパルス・レーダーは、戻ってきたレーダー信号の実数部と虚数部との双方から情報を得ることを必要とし得る。I 及び Q ユニット 3 0 6 は、図 5 A に示すように、1 6 M H z の中間周波数 (I F) の戻ってきたレーダー信号を表したものを、提供することができる。図 5 A で列挙したそれらの周波数は単なる例示である。他の周波数を使用することもできる。直角位相ダウン・コンバージョンは、1 2 8 M H z 発振器信号を 8 で分割し、例えば、 $8 \times 1 6 M H z = 1 2 8 M H z$ 、のようにすることができる。1 2 8 M H z マスター・クロック 3 2 4 に関する用語は、基準発振器、1 2 8 M H z 発振器、及び 1 2 8 M H z クロックを含むことができる。これらの用語は、本開示では交換可能に用いられ得る。

【 0 0 6 7 】

[0084] I 及び Q ユニット 3 0 6 は、同時に 2 つの機能を行うことができる。第 1 に、I 及び Q ユニット 3 0 6 は、1 2 8 M H z クロック信号 3 2 4 を 8 で割り、デジタル制御で 4 ビット位相シフトを提供することができる。4 ビット位相シフトと同時に、I 及び Q ユニット 3 0 6 は、同位相 (I) 及び直角位相 (Q) の信号部分を形成し、1 6 M H z I F 周波数を、1 k H z と 2 k H z との間のベースバンドへとダウンコンバートする。I 信号部分及び Q 信号部分はまた、「I」チャンネル及び「Q」チャンネルと呼ばれる。I 及び Q ユニット 3 0 6 からの出力は、L P F 3 0 8 及び 3 1 2 を通過し、A D C 3 1 0 及び 3 1 4 は、戻ってきた信号の各部分をデジタル化することができる。A D C 3 1 0 及び 3 1 4 は、周波数分割器 3 2 6 から入力を受け取ることができる。周波数分割器 3 2 6 と I 及び Q ユニット 3 0 6 との双方は、1 2 8 M H z マスター・クロック 3 2 4 から 1 2 8 M H z クロック信号を受け取ることができる。周波数分割器 3 2 6 は、信号を A D C 3 1 0 及び 3 1 4 へ出力することができる。

【 0 0 6 8 】

[0085] F P G A 2 1 4 A は、分離した I 信号及び Q 信号を各受信機チャンネルから受け取ることができる。F P G A 2 1 4 A は、信号を合成及び処理し、これは、図 1 A に示すようなレーダー・カバレッジ・エリア内の障害物の 3 D 位置を決定するためのデジタル受信ビーム・ステアリングを含む。F P G A 2 1 4 A は、クロージャ (closure) のサイズ、高さ、レートを含む障害物の情報及び他の情報を処理し、W i - F i システム 3 2 0 へ送ることができる。W i - F i システム 3 2 0 は、更に、障害物の情報を 1 以上のディスプレイ・デバイスへ送ることができる。F P G A 2 1 4 A の 1 つの可能な例は、ザイリンクス (X i l i n x) の X C 7 k 7 0 t 7 シリーズ F P G A を含むことができる。

【 0 0 6 9 】

[0086] レーダー送信機電子装置は、デュアル D D S 3 2 8 及び I / Q S S B ミキサー 3 3 0 を含むことができる。デュアル D D S 3 2 8 は、F P G A 2 1 4 A からコマンド及び制御入力を受け取り、I / Q S S B ミキサー 3 3 0 へ 1 6 M H z 中間周波数 I 信号 3 3 4 及び Q 信号 3 3 6 を送ることができる。例示のデュアル D D S は、アナログ・デバイセズの A D 9 9 5 8 を含むことができる。

【 0 0 7 0 】

[0087] I / Q S S B ミキサー 3 3 0 は、デュアル D D S 3 2 8 からの信号、及び V C O 3 0 0 からの 2 4 G H z 信号を、受け取ることができる。I / Q S S B ミキサー 3 3 0 は、レーダー信号を、増幅器 3 3 2 へ、そして更に S I W 送信アレイ 2 0 2 へ、出力することができる。増幅器 3 3 2 の一例は、アナログ・デバイセズからの H M C 8 6 3 を含むことができる。S I W 送信アレイ 2 0 2 は、規定されたパターンのレーダー信号を出

10

20

30

40

50

力することができる。何れの反射されたレーダー信号もS I W R xアレイ・エレメント200に突き当たり得るものであり、処理のためにF P G Aへ導かれる。

【0071】

【0088】 図5Bは、本開示の1以上の技術に従った、レーダー受信電子装置の一部とすることができる複数のチャンネルを示す、例示の受信モジュールの幾つかの部分の概念ブロック図である。図5Bは、図2Bに示すようなS I W受信機アレイ122の一部からの受信したレーダー信号を処理するための例示のコンポーネント及び技術を示す。図5Bの例は、図4及び図5Aの他の機能の詳細を示し、それは、例示のレーダー受信機サブアレイ132Aを含み、これは図2Bに示すもののようなものである。完全な統合型レーダー・システムは、図5Bに示す1以上のコンポーネント・セットを用いることができる。例えば、4個のレーダー受信機サブアレイを用いる統合型レーダー・システムは、図2Bに示す32チャンネルを達成するために、図5Bに示す4つのコンポーネント・セットを用いることができる。

10

【0072】

【0089】 受信モジュール350は、レーダー受信機アンテナ・サブアレイ132A、各チャンネルのためのV C O 300、R xミキサー204A - 204H、オクタル・アナログ・フロント・エンド(A F E)受信機352、同位相(「I」)信号と直角位相(「Q」)信号との双方ための加算演算増幅器(o p a m p)及びL P F 354及び356、デュアル・チャンネル小振幅差動信号方式(low voltage differential signaling)(L V D S)ユニット358、F P G Aクロック分周器360、及び電圧レギュレーター362を含むことができる。受信モジュール350内に示すコンポーネントは、多層P C B 101に取り付けて相互接続することができ、多層P C B 101は、図2Aに示すS I Wアンテナ層102及び1以上の回路層103を含む。

20

【0073】

【0090】 図5Bの例は、8個のS I W R xアレイ・エレメント200A - 200Hを含むようにしたレーダー受信機アンテナ・サブアレイ132Aを示す。他の例では、レーダー受信機サブアレイ132Aは、8個より多くの又は少ないS I W R xアレイ・エレメントを含むことができる。S I W R xアレイ・エレメント200A - 200Hのそれぞれは、それぞれのR xミキサー204A - 204Hに接続する。受信モジュール350内に示す8チャンネルのそれぞれのためのR xミキサー204A - 204Hのそれぞれはまた、V C O 300から24GHz L O信号を受け取る。R xミキサーは、各チャンネルに関してS I W R xアレイ・エレメントにより受信した反射レーダー信号をダウンコンバートし、入力をオクタルA F E受信機352へ送る。各チャンネルに関する信号経路は、図4、図5A、及び後に図5Cにより示すように、R xミキサー204A - 204H以外のコンポーネントを含むことができる。図5Bの例は、各チャンネルに対するR xミキサー204を示す。他の例では、各チャンネルに対して1個のミキサーではなく、4チャンネル・ミキサーを用いることができる。4チャンネル・ミキサー・コンポーネントの例は、アナログ・デバイセズからのA D F 5904を含むことができる。上述のように、ミキサー・コンポーネントは、各サブアレイと4チャンネル受信機チップとの間の経路長が等しい長さとなるようにS I Wサブアレイの中間に配されたとき、性能上の利点を有することができる。例えば、これは、V C O 300からの信号が各受信機チャンネルに関して同じ時間及び同じ位相で到達することを、可能にすることができる。

30

40

【0074】

【0091】 オクタルA F E受信機352は、8チャンネルのそれぞれに関して様々な機能を行うことができる。幾つかの例は、前増幅(preamplification)、高調波除去、アンチエイリアス・フィルタリング、I / Q復調及び相回転、デジタル復調及びデシメーション、及びA D Cを通じてのデジタル信号への変換を含むことができる。オクタルA F E受信機352の機能の少なくとも幾つかを行うための1つの可能な例示のコンポーネントは、アナログ・デバイセズのA D 9670オクタル・ウルトラサウンド・アナログ・フロント・エンド(A F E)受信機を含むことができる。オクタルA F E受信機352は、128

50

MHz マスター・クロック 324 から 128 MHz クロック入力を受信することができる。オクタル AFE 受信機 352 は、各チャンネルに対する同位相「I」信号を、各チャンネルに対する加算演算増幅器及びロー・パス・フィルターのセットへ出力することができ、受信モジュール 350 の例では、加算演算増幅器及びロー・パス・フィルターのセットを 1 つのユニット 354 として示している。同様に、オクタル AFE 受信機 352 は、各チャンネルに対する直角位相「Q」信号を、各チャンネルに対する加算演算増幅器及びロー・パス・フィルターのセットへ出力することができ、この加算演算増幅器及びロー・パス・フィルターのセットは 1 つのユニット 356 として示している。

【0075】

[0092] LVD S ユニット 358 は、「I」入力及び「Q」入力を加算演算増幅器及びロー・パス・フィルター 354 及び 356 から、また、入力を FPG A クロック分周器 360 から、受け取ることができる。LVD S ユニット 358 は、入力信号をサンプリングし、アナログ・デジタル変換を行うために、LVD S 又は TIA / EIA - 644 の技術標準の下で動作することができる。LVD S ユニット 358 の 1 以上の機能を行うことができる例示のコンポーネントは、アナログ・デバイセズの AD7357 又は AD7356 差動入力 ADC コンポーネントを含むことができる。本開示の 1 以上の技術に従って、LVD S ユニット 358 は、ビーム形成、障害物の識別、及び他の機能などのような、衝突回避システムにより必要とされる更なる処理のために、デジタルの「I」信号及び「Q」信号を出力することができる。

【0076】

[0093] 受信モジュール 350 はまた、電圧レギュレーター 362 を含むことができる。電圧レギュレーター 362 は、受信モジュール 350 のコンポーネントに対しての調節された電源を提供することができる。例えば、LVD S ユニット 358 は 2.5 V の入力電圧を必要とし得るものであり、オクタル AFE 受信機 352 は 3.0 V の入力電圧を必要とし得るものである。電圧レギュレーター 362 は、受信モジュール 350 内のそれぞれのコンポーネントを適切に動作させるための電力を供給することができる。

【0077】

[0094] 図 5 C は、統合型レーダー・システムに含めることができるレーダー受信電子装置の一部の追加の詳細を示す概念的かつ概略的なブロック図である。明瞭化のため、図 5 C は、例示のレーダー受信電子装置の 4 個のチャンネルを示す。図 2 B に示す例示の SIW 受信機アレイ 122 では、図 5 C に示す電子装置のセットは、受信アレイの全数のチャンネルに対して繰り返される。図 5 C は、コンポーネントの番号を同じに維持するものであり、図 5 C のコンポーネントは、他の図におけるコンポーネントと同じである。例えば、SIW R x アレイ・エレメント 200 A - 200 D 及び 128 MHz マスター・クロック 324 は、図 5 B に示すそれらのコンポーネントと同じである。

【0078】

[0095] 図 5 C は、多層 PCB 101 に取り付け且つ相互接続することができるレーダー受信電子装置に含まれ得る追加のコンポーネントの幾つかを示す。図 5 C は、LO フィード・ネットワーク 302 A、R x ミキサー 204 A - 204 D、SIW R x アレイ・エレメント 200 A - 200 D、中間周波数 (IF) 低雑音増幅器 (LNA) 及びハイ・パス・フィルター (HPF) 370、オクタル AFE 受信機 352、「I」信号及び「Q」信号のための加算演算増幅器及びロー・パス・フィルター 354 及び 356、「I」ADC 314 A、及び「Q」ADC 310 A を示す。また、例示のオクタル AFE 受信機 352 では、直角位相分割器 372 及びシリアル・データ・イン (SDI) ・コントローラー 374 が示されている。

【0079】

[0096] LO フィード・ネットワーク 302 A は、24 GHz 発振器信号を R x ミキサー 204 A - 204 D へ送ることができる。LO フィード・ネットワーク 302 A は、入力として、図 5 C には示していないが図 5 A には示している VCO 300 などのような VCO から 24 GHz LO 信号を受け取ることができる。図 5 C の例は、ローカル発振器 (

L O) からの各経路長が同じ長さとなるように構成された L O フィード・ネットワーク 3 0 2 A を示す。これは、V C O などのような L O からの信号が同じ時に同じ位相で R x ミキサー 2 0 4 A - 2 0 4 D のそれぞれに到達することを保証する。これは、図 3 B に示す 8 ウェイ・パワー分割器 1 7 6 と類似である。

【 0 0 8 0 】

[0097] R x ミキサー 2 0 4 A - 2 0 4 D は、S I W R x アレイ・エレメント 2 0 0 A - 2 0 0 D から反射レーダー信号を受信してダウン・コンバージョンすることにより、先に説明したものと同じように機能する。R x ミキサー 2 0 4 A - 2 0 4 D は、ダウンコンバートされた信号を、I F L N A 及び H P F 3 7 0 (明確にするために「L N A 3 7 0」と呼ぶ) の個々のチャンネルへ出力する。L N A 3 7 0 は、各チャンネルからオクタル A F E 受信機 3 5 2 のそれぞれのチャンネルへ出力する。F M C W レーダーの例では、ハイ・パス・フィルタは、受信機の周波数応答を設定することができる。ハイ・パス・フィルタは、約 1 k H z から 2 M H z の周波数範囲にわたって 4 0 d B / デイケードの応答 (40dB per decade response) を有するように I F 応答を設定するために用いられる。この機能は、伝搬損失を距離の関数として正確にオフセッする。

10

【 0 0 8 1 】

[0098] オクタル A F E 受信機 3 5 2 は、先に述べたものと同じように機能する。また、図 5 C には直角位相分割器 3 7 2 が示されており、これは、モノパルス・レーダー受信信号の「Q」出力を作り出す位相シフト機能の手助けをする。S D I コントローラー 3 7 4 は、加算演算増幅器へのデータ・フローの管理を助けることができる。

20

【 0 0 8 2 】

[0099] 加算演算増幅器及びロー・パス・フィルタ 3 5 4 及び 3 5 6 は、「I」信号及び「Q」信号のそれぞれに関して加算増幅器として働く。加算演算増幅器及び L P F 3 5 4 及び 3 5 6 は、更なる処理のために、様々な受信チャンネルからの信号を組み合わせることができる。L P F 部分は、I / Q ミキシング機能から上側の側波帯を除去することができる。

【 0 0 8 3 】

[0100] 「I」A D C 3 4 1 A 及び「Q」A D C 3 1 0 A は、上述の I A D C 及び Q A D C に関しての機能と同じ機能を行う。「I」A D C 3 4 1 A 及び「Q」A D C 3 1 0 A は、上述のように、ダウンコンバートされフィルタリングされたレーダー受信チャンネルの 4 チャンネルをデジタル化し、更なる処理のために、デジタル化された信号を出力する。

30

【 0 0 8 4 】

[0101] 図 6 は、本開示の 1 以上の技術に従った、衝突回避システムのための例示のレーダー送信パターンを示す概念図である。図 6 は、送信アンテナ 4 0 0、広い方位角及び狭い仰角の主送信ビーム 4 0 4、及びサイドローブ 4 0 2 を含む。レーダー送信機電子装置は、レーダー送信アンテナ 4 0 0 と共に、仰角が 8 度より小さく且つ方位角が少なくとも 6 5 度の送信レーダー・ビーム幅を含むレーダー信号を出力するように、構成することができる。レーダー送信アンテナ 4 0 0 は、図 4 に示す S I W 送信アレイ 2 0 2 及び図 2 B に示す S I W T x アンテナ 1 2 6 と同様に機能することができる。例示の S I W 送信パターンは、低い仰角のサイドローブを含むことができ、これは、偽の警告及び誤った検出を避ける利点を有することができる。

40

【 0 0 8 5 】

[0102] 図 7 A - 図 7 C は、本開示の 1 以上の技術に従った、衝突回避システムのための例示のレーダー受信パターンを示す概念図である。図 7 A は、例示のスロット付き導波管レーダー受信アンテナ 1 2 2 A を含み、これは、図 2 B に示す S I W R x アレイ 1 2 2 と似たものである。図 7 B は、主受信ローブ 4 1 0 B 及びサイドローブ 4 1 2 B を持つ例示の受信レーダー・パターンを示す。図 7 C は、主ローブ 4 1 0 C、サイドローブ 4 1 2 C、及び後部ローブ 4 1 4 を含む例示のレーダー受信パターンの側面図を示す。ビーム・ステアリング・レーダー受信パターンは、1 0 0 メートルの距離で少なくとも 3 平方メ

50

ートルのターゲット検出レーダー・イメージング分解能を含むことができる。受信パターンは、少なくとも1メートルのレーダー距離分解能を含むことができ、レーダー角度分解能は、方位角及び仰角において1度及び1/2度より大きくない。

【0086】

[0103] 図8は、本開示の1以上の技術に従った、衝突回避システムのための例示のレーダー受信パターンを示すグラフである。図8のグラフは、図7A - 図7Cに示すパターンと似たレーダー受信パターンを示す。図8は、主ローブ410D及びサイドローブ402Dを示す。

【0087】

[0104] 本開示の様々な例について説明した。それら及び他の例は、特許請求の範囲の範囲内にある。

10

【図1A】

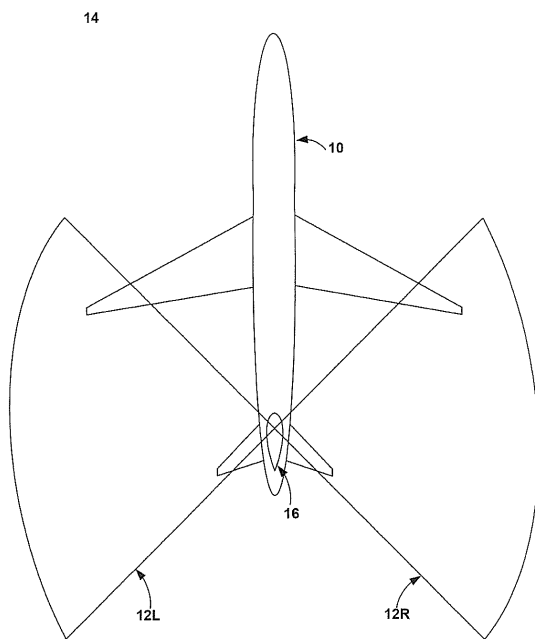


FIG. 1A

【図1B】

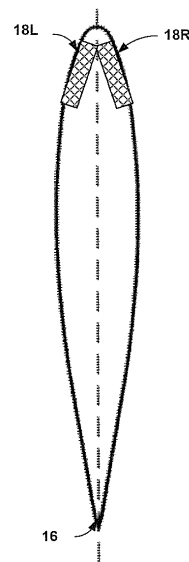


FIG. 1B

【図 2 A】

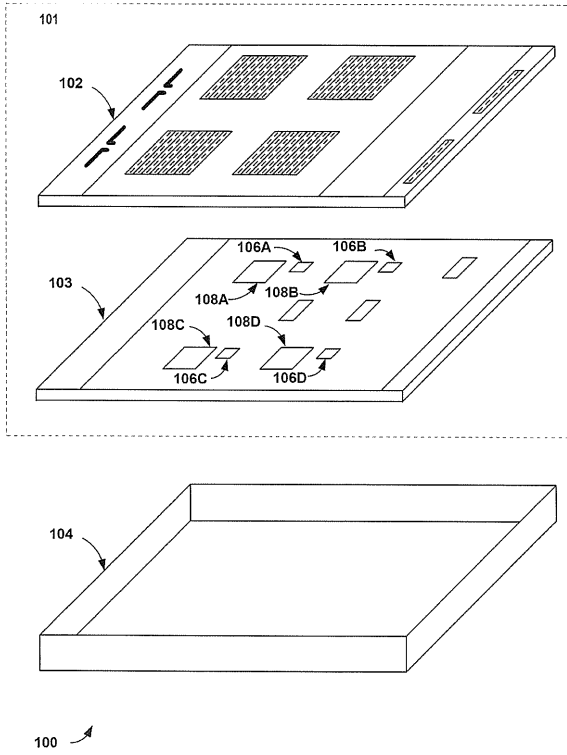


FIG. 2A

【図 2 B】

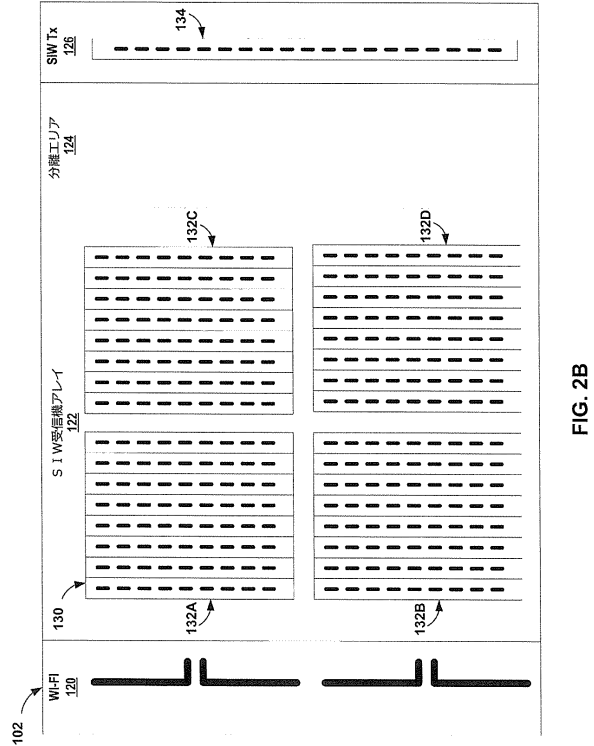


FIG. 2B

【図 3 A】

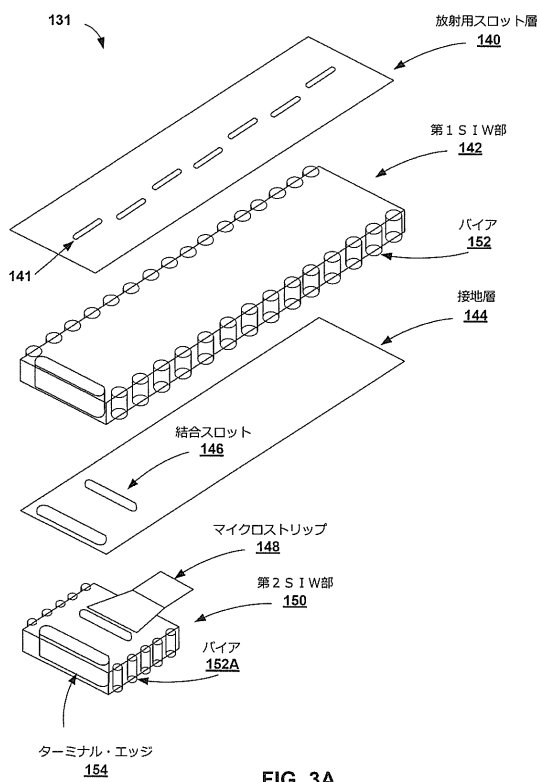


FIG. 3A

【図 3 B】

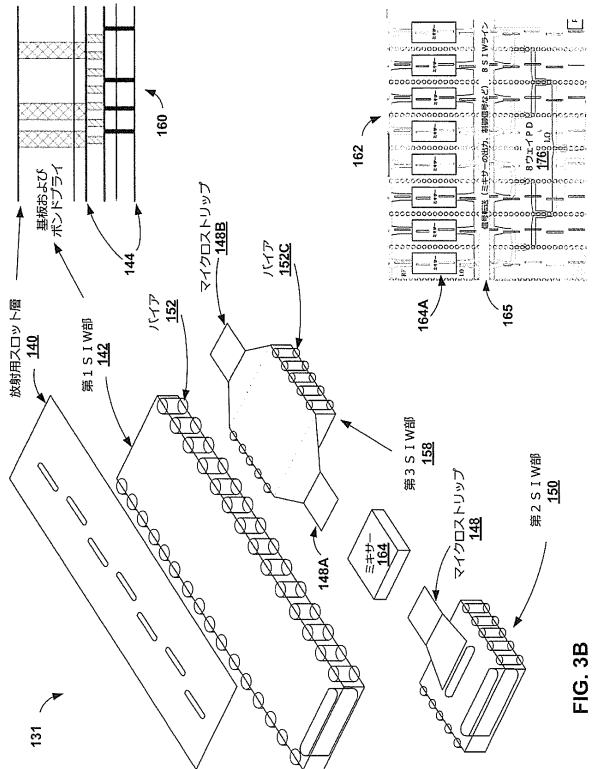


FIG. 3B

【図 3 C】

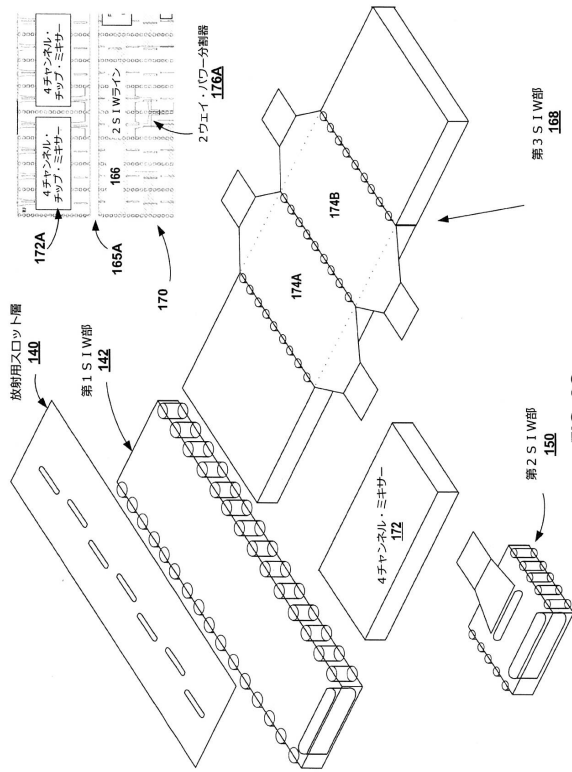


FIG. 3C

【図 3 D】

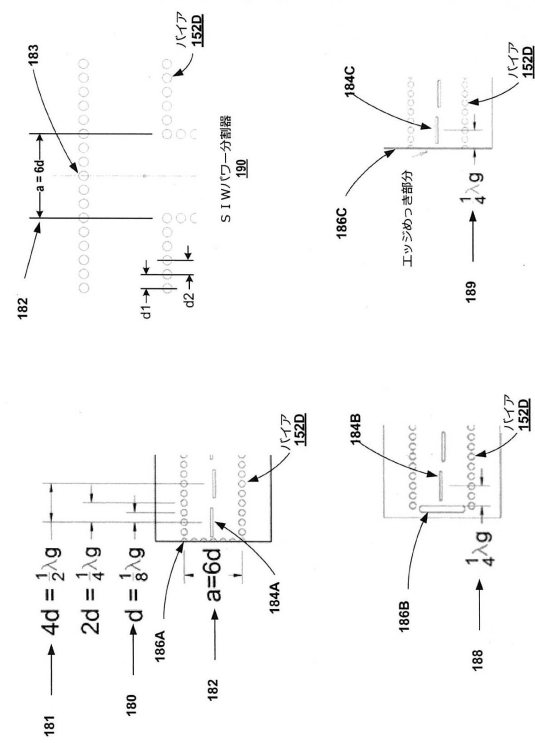


FIG. 3D

【図 3 E】

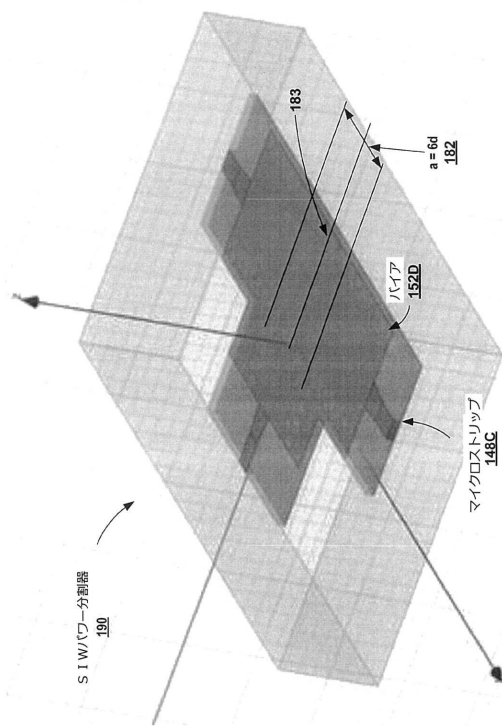
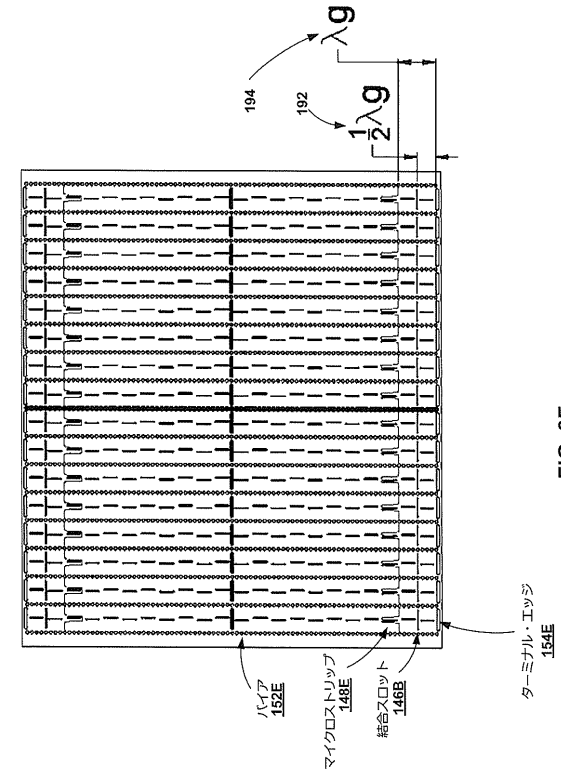


FIG. 3E

【図 3 F】



【図 3 G】

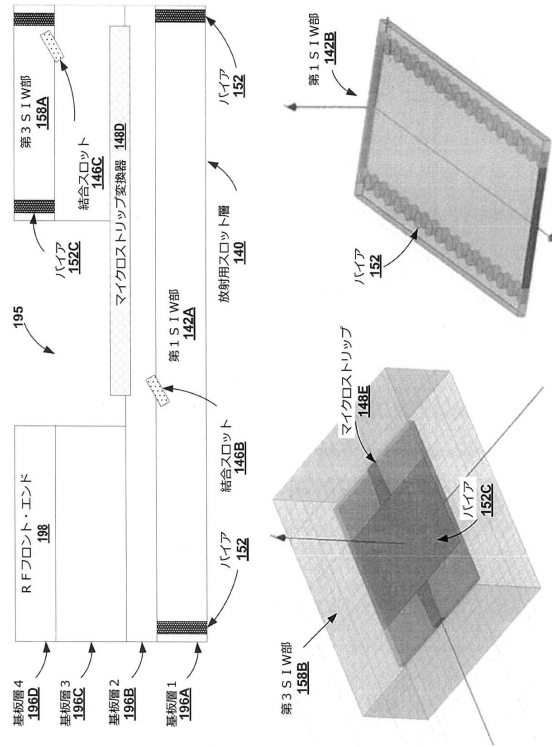


FIG. 3G

【図 4】

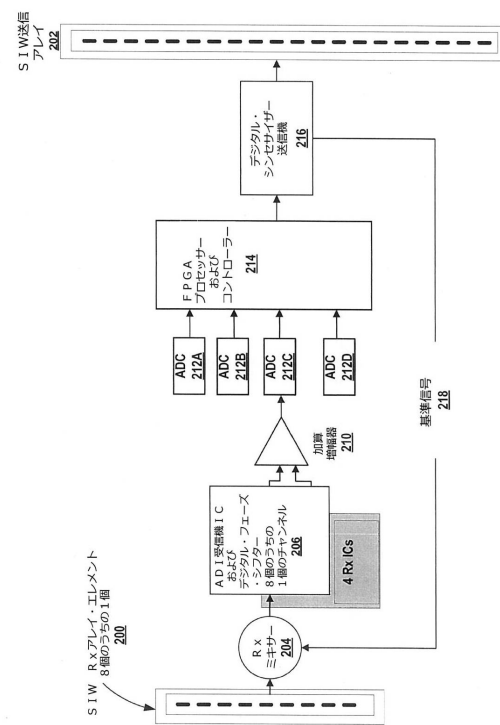


FIG. 4

【図 5 A】

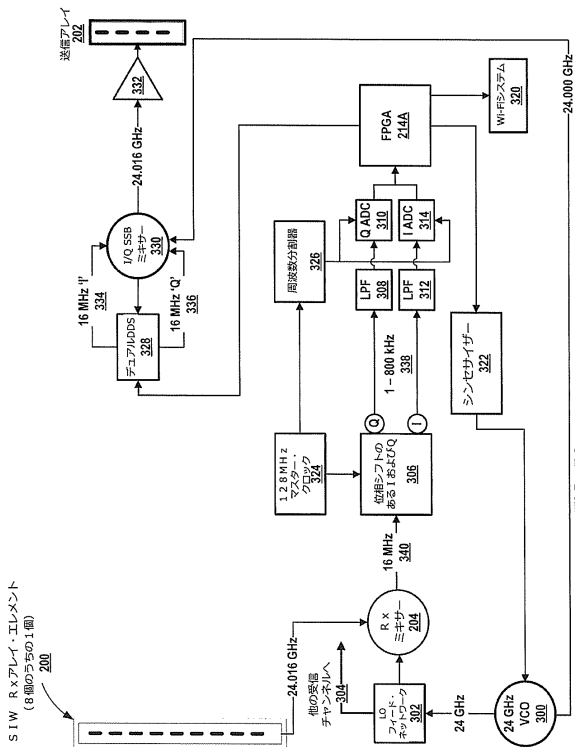


FIG. 5A

【図 5 B】

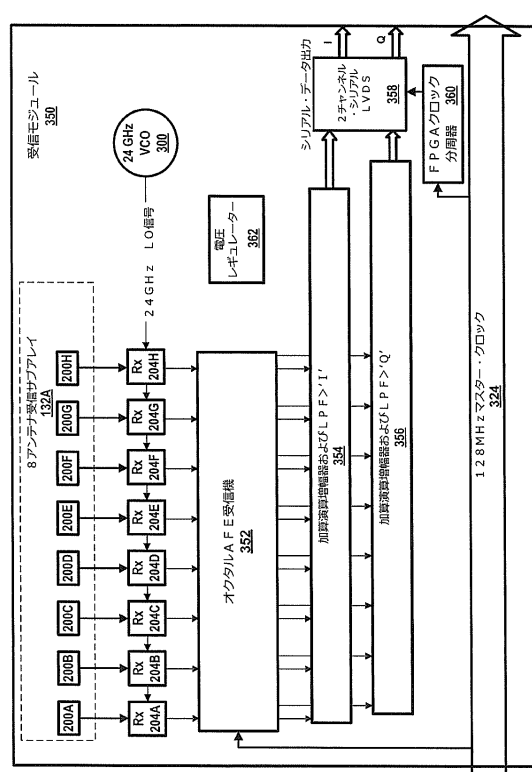


FIG. 5B

【図 5 C】

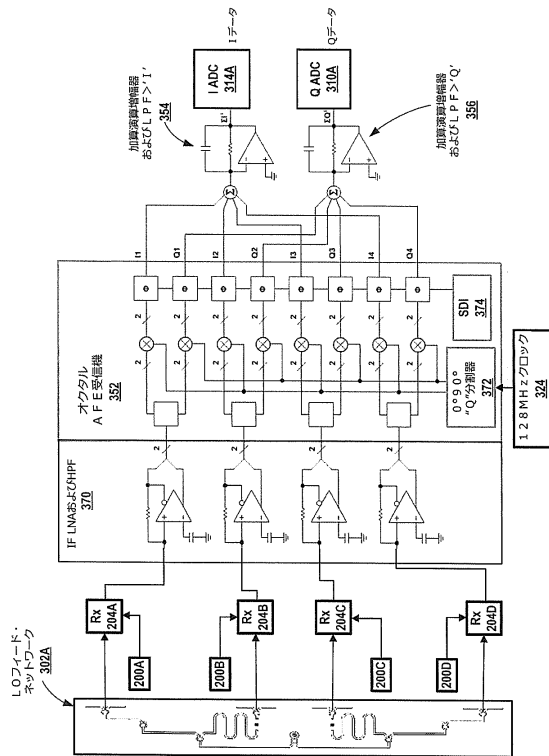


FIG. 5C

【図 6】

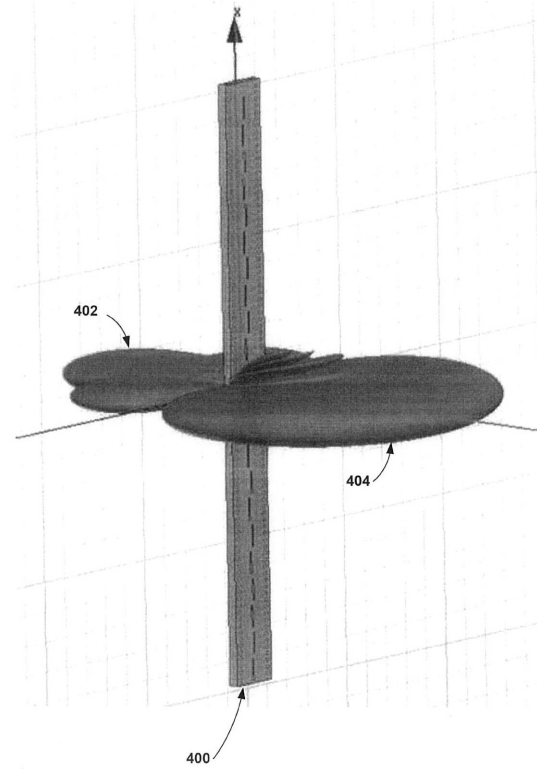


FIG. 6

【図 7 A】

S I W受信機アレイ
122A

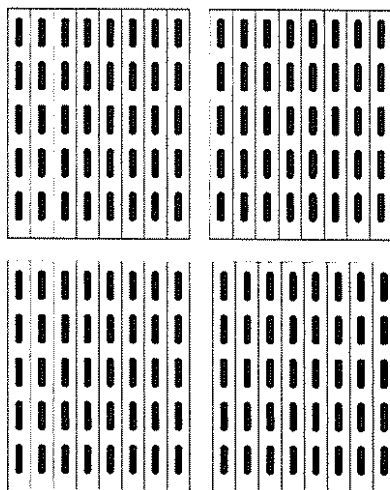


FIG.7A

【図 7 B】

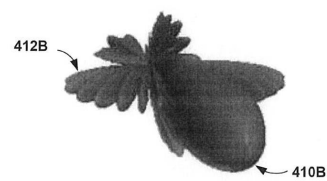


FIG.7B

【図 7 C】

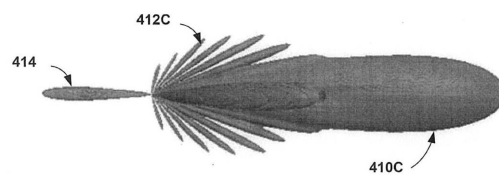


FIG. 7C

【図 8】

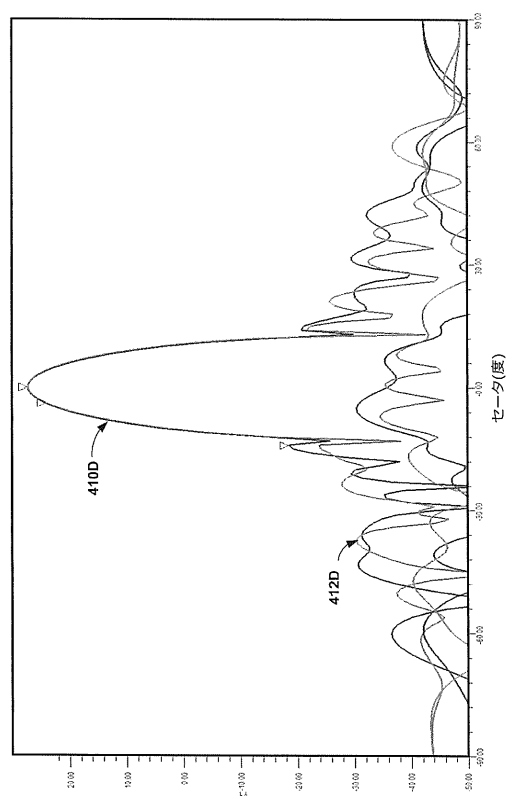


FIG. 8

フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I	
G 0 1 S	13/933	(2020.01)	G 0 1 S 13/933
G 0 1 S	7/02	(2006.01)	G 0 1 S 7/03 2 4 6
			G 0 1 S 7/02 2 1 6

(74)代理人 100106208

弁理士 宮前 徹

(74)代理人 100120112

弁理士 中西 基晴

(74)代理人 100147991

弁理士 鳥居 健一

(72)発明者 デヴィッド・シー・ヴァキャンティ

アメリカ合衆国ニュージャージー州 0 7 9 5 0 , モリス・ブレインズ, テイバー・ロード 1 1 5
 , ピー・オー・ボックス 3 7 7 , 4 ディー 3 , ハネウェル・インターナショナル・インコーポレ
 ーテッド

(72)発明者 ナイジェル・ワン

アメリカ合衆国ニュージャージー州 0 7 9 5 0 , モリス・ブレインズ, テイバー・ロード 1 1 5
 , ピー・オー・ボックス 3 7 7 , 4 ディー 3 , ハネウェル・インターナショナル・インコーポレ
 ーテッド

審査官 九鬼 一慶

(56)参考文献 国際公開第 2 0 0 7 / 0 9 1 4 7 0 (W O , A 1)

特開 2 0 0 5 - 2 0 4 3 4 4 (J P , A)

特開 2 0 0 8 - 3 0 4 3 2 1 (J P , A)

上道 雄介 Y. Uemichi , " ミリ波帯アンテナ・イン・パッケージ用超低損失石英ポスト壁導
 波路とマイクロストリップ線路間のモード変換 " , 電子情報通信学会 2 0 1 4 年総合大会講演
 文集 エレクトロニクス 1 PROCEEDINGS OF THE 2014 IEICE GENERAL CONFERENCE , 2014年03月
 04日 , p.125

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 S 7 / 0 0 - 7 / 4 2

G 0 1 S 1 3 / 0 0 - 1 3 / 9 5

H 0 1 Q 2 1 / 0 6

H 0 1 Q 2 5 / 0 2

H 0 1 Q 1 3 / 2 2