

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6106601号
(P6106601)

(45) 発行日 平成29年4月5日 (2017.4.5)

(24) 登録日 平成29年3月10日 (2017.3.10)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 S 13/91 (2006.01)	GO 1 S 13/91
GO 8 G 1/01 (2006.01)	GO 8 G 1/01 A
GO 8 G 1/017 (2006.01)	GO 8 G 1/017
GO 8 G 1/04 (2006.01)	GO 8 G 1/04 J

請求項の数 13 (全 39 頁)

(21) 出願番号	特願2013-547772 (P2013-547772)	(73) 特許権者	000005821
(86) (22) 出願日	平成25年3月12日 (2013.3.12)		パナソニック株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2013/001621		大阪府門真市大字門真1006番地
(87) 国際公開番号	W02013/140747	(74) 代理人	110002000
(87) 国際公開日	平成25年9月26日 (2013.9.26)		特許業務法人栄光特許事務所
審査請求日	平成27年8月28日 (2015.8.28)	(74) 代理人	100119552
(31) 優先権主張番号	特願2012-62493 (P2012-62493)		弁理士 橋本 公秀
(32) 優先日	平成24年3月19日 (2012.3.19)	(74) 代理人	100138771
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 吉田 将明
(出願人による申告) 平成23年度、総務省、79GHz帯レーダーシステムの高度化に関する研究開発の委託事業、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願		(72) 発明者	岸上 高明
			大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
		(72) 発明者	徳弘 崇文
			大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーダ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

路面から所定の高さの位置に設置されたレーダ装置であって、
 所定の符号系列の送信符号を高周波のレーダ送信信号に変換し、所定の俯角方向に傾けられた送信アンテナから前記高周波のレーダ送信信号を、前記所定の高さの位置から前記路面に向かって送信するレーダ送信部と、

前記路面を走行する車両にて反射された前記レーダ送信信号である反射波信号を用いて前記路面を走行する車両の高さに関するパラメータ及び車速を推定するレーダ受信部と、
 を含み、

前記レーダ受信部は、

前記反射波信号と前記送信符号とを基に相関演算する相関演算部と、

N個の前記車両の高さに関するパラメータ及び車速に応じた、前記反射波信号における位相成分の変化量を、N個のテンプレートとして生成するテンプレート生成部と、

前記生成された前記N個のテンプレートのいずれかと、前記反射波信号と前記レーダ送信信号の送信符号との相関値とを基に相関演算するN個のテンプレート相関演算部と、

前記N個のテンプレート相関演算部の各出力を基に、前記生成されたN個のテンプレートのうちいずれかのテンプレートに応じた前記車両の高さに関するパラメータ及び車速を基に車種判別を行う出力選択部と、を有するレーダ装置。

【請求項2】

請求項1に記載のレーダ装置であって、

10

20

前記高さに関するパラメータは、前記車両の高さ、又は、前記レーダ装置の高さと前記車両の高さとの距離であるレーダ装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載のレーダ装置であって、
前記レーダ受信部は、
前記反射波信号と前記レーダ送信信号の送信符号との相関値を、所定回数加算する加算部と、を更に有し、
各々の前記テンプレート相関演算部は、
前記加算部の出力と前記生成された前記 N 個のテンプレートのいずれかを基に相関演算するレーダ装置。

10

【請求項 4】

請求項 1 ～ 3 のうちいずれか一項に記載のレーダ装置であって、
前記出力選択部は、
前記 N 個のテンプレート相関演算部の各出力のうち所定の閾値を超える出力が複数ある場合に、前記所定の閾値を超える出力の最大値を推定値として選択するレーダ装置。

【請求項 5】

請求項 1 ～ 3 のうちいずれか一項に記載のレーダ装置であって、
前記出力選択部は、
前記 N 個のテンプレート相関演算部の各出力のうち所定の閾値を超える出力が複数ある場合に、前記所定の閾値を超える複数の出力を用いて補間処理し、前記補間処理後の出力を推定値として選択するレーダ装置。

20

【請求項 6】

請求項 1 ～ 5 のうちいずれか一項に記載のレーダ装置であって、
前記テンプレート生成部は、
N 個の前記車両の高さに関するパラメータ及び車速に応じた、前記反射波信号における位相成分の実数成分の変化量を、N 個のテンプレートとして生成するレーダ装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載のレーダ装置であって、
前記テンプレート生成部は、
N 個の前記車両の高さに関するパラメータ及び車速に応じた、前記反射波信号における位相成分の虚数成分の変化量を、N 個のテンプレートとして生成するレーダ装置。

30

【請求項 8】

請求項 3 に記載のレーダ装置であって、
各々の前記テンプレート相関演算部は、
前記加算部の出力を所定の間隔にてダウンサンプルするダウンサンプル部と、
前記ダウンサンプル後の前記加算部の出力と、前記生成された前記 N 個のテンプレートのいずれかを基に相関演算する相関演算部と、を含むレーダ装置。

【請求項 9】

請求項 3 に記載のレーダ装置であって、
前記所定の俯角方向は、
前記レーダ送信信号のビーム幅範囲に、前記レーダ装置と前記レーダ装置の直下を走行する前記車両との間の前記レーダ送信信号の行路が含まれる方向であって、
前記テンプレート生成部は、
各々のサンプルタイミングにおけるレンジビンに前記レーダ送信信号の行路が含まれる場合の前記車両の高さに関するパラメータを用いて、前記車両の高さに関するパラメータ及び車速に応じた N_p ($< N$) 個のテンプレートを生成するレーダ装置。

40

【請求項 10】

請求項 9 に記載のレーダ装置であって、
前記レーダ受信部は、
前記生成された前記 N_p 個のテンプレートに応じて、前記加算部の出力を、前記 N_p (

50

＜N）個の前記テンプレート相関演算部に出力する距離選択出力部と、を更に有するレーダ装置。

【請求項 1 1】

請求項 3 に記載のレーダ装置であって、
前記レーダ受信部は、

前記加算部の出力を基に、前記路面からの路面反射波信号を検出し、前記レーダ送信信号のビーム幅範囲に対応する検出エリアに前記車両が通過開始タイミングを検出する路面反射波信号検出部と、を更に有し、

各々の前記テンプレート相関演算部は、

前記路面反射波信号の検出時刻以降における前記加算部の各出力を基に相関演算するレーダ装置。 10

【請求項 1 2】

請求項 3 に記載のレーダ装置であって、
前記レーダ受信部は、

前記加算部の出力を基に、前記路面からの路面反射波信号を検出し、前記レーダ送信信号のビーム幅範囲に対応する検出エリアに前記車両が通過開始タイミング及び通過終了タイミングを検出する路面反射波信号検出部と、を更に有し、

前記 N 個のテンプレート相関演算部の各出力を基に、前記生成された N 個のテンプレートのうちいずれかのテンプレートに応じた前記車両の車速を推定値として選択し、前記通過開始タイミング及び前記通過終了タイミングを基に前記車両の車長を推定する出力選択部と、を有するレーダ装置。 20

【請求項 1 3】

請求項 1 に記載のレーダ装置であって、

前記路面から所定の高さの位置は、車両走行レーン上のポール又は道路側面の支柱であるレーダ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、車両の走行速度又は車種を判別するレーダ装置に関する。 30

【背景技術】

【0002】

車両感知器は、例えば道路上又は道路脇の支柱上部に設けられ、車両感知器の直下の車両走行レーンを通過する車両の走行速度又はその車種を判別する。近年、車両感知器に、マイクロ波又はミリ波を用いたレーダ装置の適用が検討されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】 日本国特開平 05－52950 号公報

【特許文献 2】 日本国特公昭 58－25962 号公報 40

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献 1】 弓場竜著、「車載ミリ波レーダの車両感知器への適用の検討」、社団法人 情報処理学会 研究報告、2004－ITS－18、2004 年 9 月 28 日

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、従来のレーダ装置では、車両判別精度が車両の形状に依存するという課題があった。

【0006】

本開示は、上述従来の事情に鑑みてなされたもので、ひとつのレーダ装置であっても、車両の形状に拘わらず、車両の車種判別精度を改善する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】

本開示は、路面から所定の高さの位置に設置されたレーダ装置であって、所定の符号系列の送信符号を高周波のレーダ送信信号に変換し、所定の俯角方向に傾けられた送信アンテナから前記高周波のレーダ送信信号を、前記所定の高さの位置から前記路面に向かって送信するレーダ送信部と、前記路面を走行する車両にて反射された前記レーダ送信信号である反射波信号を用いて前記路面を走行する車両の高さに関するパラメータ及び車速を推定するレーダ受信部と、を含み、前記レーダ受信部は、前記反射波信号と前記送信符号とを基に相関演算する相関演算部と、N個の前記車両の高さに関するパラメータ及び車速に応じた、前記反射波信号における位相成分の変化量を、N個のテンプレートとして生成するテンプレート生成部と、前記生成された前記N個のテンプレートのいずれかと、前記反射波信号と前記レーダ送信信号の送信符号との相関値とを基に相関演算するN個のテンプレート相関演算部と、前記N個のテンプレート相関演算部の各出力を基に、前記生成されたN個のテンプレートのうちいずれかのテンプレートに応じた前記車両の高さに関するパラメータ及び車速を基に車種判別を行う出力選択部と、を有する。

10

【発明の効果】

【0008】

20

本開示によれば、車両の形状に拘わらず、車両の車種判別精度を改善できる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】 (a) 第1の実施形態のレーダ装置のYZ平面上における配置状況を示す模式図、(b) 第1の実施形態のレーダ装置のXZ平面上における配置状況を示す模式図

【図2】 第1の実施形態のレーダ装置の内部構成を簡略に示すブロック図

【図3】 第1の実施形態のレーダ装置の内部構成を詳細に示すブロック図

【図4】 レーダ送信信号の送信区間 T_w と送信周期 T_r との関係を示す図

【図5】 送信信号生成部の変形例の内部構成を示すブロック図

【図6】 レーダ送信信号、遅延時間 τ_1 の受信信号及び遅延時間 τ_2 の受信信号の関係を示す図

30

【図7】 (a) アンテナ高5m、車両高3m、周波数60GHzにおける行路差の変化を示すグラフ、(b) アンテナ高5m、車両高3m、周波数60GHzにおける位相成分の変化を示すグラフ

【図8】 アンテナ高5m、同一車両高3m、周波数60GHzにおける車速毎のテンプレートの位相の実成分の変化を示すグラフ、(a) 車速が30km/hの場合、(b) 車速が60km/hの場合、(c) 車速が90km/hの場合、(d) 車速が120km/hの場合

【図9】 第1の実施形態の変形例における車高車速テンプレート相関演算部の内部構成を示すブロック図

40

【図10】 (a) 第2の実施形態のレーダ装置のYZ平面上における配置状況を示す模式図、(b) 第2の実施形態のレーダ装置のXZ平面上における配置状況を示す模式図

【図11】 第2の実施形態のレーダ装置の内部構成を詳細に示すブロック図

【図12】 第2の実施形態の変形例における車高車速テンプレート相関演算部の内部構成を示すブロック図

【図13】 第3の実施形態のレーダ装置の内部構成を詳細に示すブロック図

【図14】 第4の実施形態のレーダ装置の内部構成を詳細に示すブロック図

【図15】 (a) 第5の実施形態のレーダ装置のXZ平面上における複数の車両走行レーンに対する配置状況を示す模式図、(b) 第5の実施形態のレーダ装置の信号処理部の内部構成を詳細に示すブロック図

50

【図 16】第 6 の実施形態のレーダ装置が搭載された車両の配置状況を示す模式図

【図 17】第 6 の実施形態のレーダ装置の内部構成を簡易に示すブロック図

【図 18】第 6 の実施形態のレーダ装置の内部構成を詳細に示すブロック図

【図 19】従来の車両測定システムの実施例の構成図

【図 20】従来のミリ波レーダの計測速度と道路座標系における車両速度との関係を示す模式図

【図 21】(a) 従来のレーダ装置のドップラ信号検出帯域図、(b) 従来のレーダ装置のドップラ信号速度情報図

【発明を実施するための形態】

【0010】

10

(各実施形態の内容に至る経緯)

先ず、本開示に係るレーダ装置の各実施形態を説明する前に、各実施形態の内容に至る経緯として、車両感知器にレーダ装置を用いた従来技術を、図 19～図 21 を参照して説明する。

【0011】

図 19 は、特許文献 1 に示す従来の車両測定システムの実施例の構成図である。図 19 に示す車両測定システムでは、複数（例えば 2 つ）のレーダ部 10 a, 10 b が用いられている。レーダ部 10 a, 10 b は、アンテナ 11 a, 11 b から電波 16 a, 16 b を基準面 5 b a に向けて照射し、基準面 5 b a 又は車両 2 T R から反射された電波 18 a, 18 b を受信する。レーダ部 10 a, 10 b は、電波 18 a, 18 b から、車両 2 T R が 2 つのレーダ部 10 a, 10 b 間の距離 R を通過する時間を算出し、更に、通過時間を基にして車両長及び車両速度を算出する。

20

【0012】

図 20 は、非特許文献 1 に示す従来のミリ波レーダの計測速度と道路座標系における車両速度との関係を示す模式図である。図 20 では、ミリ波レーダは、路側に設けられた支柱上部から斜め下方の道路に向かって電波を放射し、放射電波のビーム幅以内の検出範囲の路面及び道路構造物からの反射波を受信する。

【0013】

検出範囲に車両が進入すると、ミリ波レーダは、車両からの反射波を受信し、時刻 t , $(t + \Delta t)$ におけるミリ波レーダと車両との間の距離 $r(t)$, $r(t + \Delta t)$ を算出し、車両の走行速度を算出する。更に、ミリ波レーダは、距離 $r(t)$, $r(t + \Delta t)$ 及び時間間隔 Δt を基にして相対速度 v を算出し、相対速度 v 及び時間間隔 Δt から車両の車長を算出して車両の車種を判別する。

30

【0014】

図 21 (a) は特許文献 2 に示す従来のレーダ装置のドップラ信号検出帯域図、図 21 (b) は従来のレーダ装置のドップラ信号速度情報図である。図 21 (a) では、レーダ装置は、路側に設けられた支柱上部から斜め下方の道路に向けて電波を放射する。図 21 (b) では、車両の進行に伴って得られるドップラ信号の速度情報は、車両がレーダ装置のアンテナに近づくにつれて低下し、アンテナ直下にて最小値となり、アンテナの直下を通過すると上昇する。

40

【0015】

レーダ装置は、ドップラ信号の速度情報の変化を基に、車両の進行方向とアンテナの設定位置及び電波の反射点を結ぶ直線との角度 θ が小さい場合に車両速度 v_1 を検出し、車両の通過につれて変化する速度成分 v が $v < \alpha v_1$ ($0 < \alpha < 1$) となる車種信号（時間 T ）を基にして $v_1 T$ を演算する。これにより、レーダ装置は、車両の車種及び車長を判別できる。

【0016】

しかし、上記特許文献 1 では複数のレーダ装置が必要となるため、設置コスト及び設置場所が制約される。また、上記非特許文献 1 及び特許文献 2 では、レーダ装置は、車両前面の先端部において反射された反射波信号を基に車両を検出し、更に車両の種別を判別す

50

る。このため、車両の形状によっては、車両前面の先端部における反射波信号の受信レベルが小さくなる場合がある。

【0017】

例えば、レーダ装置が車両の中間部における反射波信号を車両前面の先端部からの反射波信号として検出すると、車長の測定に誤差が生じる。このため、レーダ装置における車種判別精度が劣化することがあった。

【0018】

そこで、以下の各実施形態では、車両の形状に拘わらず、車両の車種判別精度を改善するレーダ装置の例を説明する。

【0019】

本開示に係るレーダ装置の各実施形態を、図面を参照して説明する。

【0020】

(第1の実施形態：レーダ装置1)

図1(a)は第1の実施形態におけるレーダ装置1のYZ平面上における配置状況を示す模式図、図1(b)は第1の実施形態のレーダ装置1のXZ平面上における配置状況を示す模式図である。図2は、第1の実施形態のレーダ装置1の内部構成を簡略に示すブロック図である。図3は、第1の実施形態のレーダ装置1の内部構成を詳細に示すブロック図である。図4は、レーダ送信信号の送信区間 T_w と送信周期 T_r との関係を示す図である。図5は、送信信号生成部2の変形例の内部構成を示すブロック図である。

【0021】

図1(a)及び(b)において、レーダ装置1の検出対象となる車両TKの進行方向をY軸の正方向とし、路面GNDに垂直な方向をZ軸の正方向とし、YZ平面に垂直な軸をX軸とし、レーダ装置1の直下となるXY平面上の位置を原点Oとする。車高 z を有する車両TKは、車速 v にて+Y軸方向に走行する。

【0022】

レーダ装置1は、路面GNDから所定の高さ H の位置であって、車両走行レーン X_L の真上(見込み角 $\gamma(z)=0$)或いは車両走行レーン X_L に対する見込み角 $\gamma(0)$ の車両走行レーン上のポール又は道路側面の支柱に設置されている(図1(b)参照)。また、レーダ装置1は、ZY平面上において、所定の俯角 ϕ の方向に傾けられている。本実施形態では、レーダ装置1の俯角 ϕ は 90° である(図1(a)参照)。

【0023】

以下の説明では、XZ平面上において、レーダ装置1の直下の路面に向く方向とレーダ装置1から送信されるレーダ送信信号の車高 z の車両TKへの行路の方向との間の角度を「見込み角 $\gamma(z)$ 」という(図1(b)参照)。この場合、XZ平面における俯角 $\alpha(z)$ は $\pi/2 - \gamma(z)$ となる。

【0024】

レーダ装置1は、レーダ送信部Txにより生成されたレーダ送信信号を送信アンテナTx-antから送信し、レーダ送信信号が車両TKにより反射された反射波信号を受信アンテナRx-Antにおいて受信する。レーダ装置1は、受信された反射波信号を信号処理し、車両TKの車高 z 及び車速 v を推定する。

なお、以下の各実施形態では、レーダ装置1の検出対象として車両TKを例示しているが、検出対象は車両TKに限定されず、例えば人でも良い。

【0025】

まず、レーダ装置1の各部の構成について簡略に説明する。

【0026】

図2に示すレーダ装置1は、基準信号発振器Lo、レーダ送信部Tx及びレーダ受信部Rxを含む構成である。レーダ送信部Txは、送信信号生成部2、及び、送信アンテナTx-antが接続された送信RF部3を有する構成である。基準信号発振器Loは、レーダ送信部Tx及びレーダ受信部Rxに接続され、基準信号発振器Loからの信号をレーダ送信部Tx及びレーダ受信部Rxに共通に供給することで、レーダ送信部Tx及びレーダ

10

20

30

40

50

受信部 R x の処理が同期する。

【0027】

レーダ受信部 R x は、受信アンテナ R x - a n t が接続された受信 R F 部 1 0、及び信号処理部 1 1 を有する。信号処理部 1 1 は、相関演算部 1 7、車高車速テンプレート生成部 1 9、合計 N r e p 個の車高車速テンプレート相関演算部 # 1 ~ # N r e p (p = 1 ~ N r e p) 及び出力選択部 2 0 を少なくとも有する。

【0028】

(レーダ送信部)

次に、レーダ送信部 T x の各部の構成を、図 3 を参照して詳細に説明する。

【0029】

図 3 に示す送信信号生成部 2 は、符号生成部 4、変調部 5、L P F (Low Pass Filter) 6 及び D / A 変換部 7 を含む。なお、L P F 6 は、送信信号生成部 2 の外部に設けられても良く、L P F 6 の出力は D / A 変換部 7 に入力される。

【0030】

図 3 に示す送信 R F 部 3 は、周波数変換部 8 及び増幅器 9 を含む。

【0031】

次に、レーダ送信部 T x の各部の動作を詳細に説明する。

【0032】

送信信号生成部 2 は、基準信号発振器 L o により生成されたリファレンス信号に基づいて、リファレンス信号を所定倍に通倍した送信基準クロック信号を生成する。送信信号生成部 2 の各部は、生成された送信基準クロック信号に基づいて動作する。

【0033】

送信信号生成部 2 により生成される送信信号は、図 4 に示す送信周期 T r の送信区間 T w [秒] では、符号長 L p の符号系列 C n の 1 つの符号あたり送信基準クロック信号の N o [個] のサンプルを用いて変調されている。即ち、送信信号生成部 2 におけるサンプリングレートは (N o × L p) / T w となる。従って、送信区間 T w [秒] では、N r (= N o × L p) [個] のサンプルを用いて変調されている。各送信周期 T r の無信号区間 (T r - T w) [秒] では、N u [個] のサンプルを用いて変調されている。

【0034】

送信信号生成部 2 は、符号長 L p の符号系列 C n の変調によって、数式 (1) に示すベースバンドの送信信号 r (k , M) を周期的に生成する。n は 1 ~ L p であり、L p は符号系列 C n の符号長を表す。j は、j ² = - 1 を満たす虚数単位である。k はレーダ送信部 T x における送信周期 T r の開始時刻を基準 (k = 1) とした離散時刻を表し、k = 1 ~ (N r + N u) であり、送信信号の生成のための変調タイミングを表す離散時刻である。

【0035】

M はレーダ送信信号の送信周期 T r の序数を表す。送信信号 r (k , M) は、第 M 番目の送信周期 T r の離散時刻 k における送信信号を表し、同相信号成分 I (k , M) と、虚数単位 j が乗算された直交信号成分 Q (k , M) との加算結果となる (数式 (1) 参照) 。

【0036】

【数 1】

$$r(k, M) = I(k, M) + jQ(k, M) \dots (1)$$

【0037】

符号生成部 4 は、送信周期 T r 毎に、符号長 L p の符号系列 C n の送信符号を生成する。符号系列 C n の要素は、例えば、[- 1 , 1] の 2 値、若しくは [1 , - 1 , j , - j] の 4 値を用いて構成される。送信符号は、レーダ装置 1 が低レンジサイドローブ特性を有するために、例えば、相補符号のペアを構成する符号系列、B a r k e r 符号系列、G

10

20

30

40

50

o l a y 符号系列、M 系列符号、及び、スパノ符号を構成する符号系列のうち少なくとも 1 つを含む符号であることが好ましい。符号生成部 4 は、生成された符号系列 C_n の送信符号を変調部 5 に出力する。以下、符号系列 C_n の送信符号を、便宜的に送信符号 C_n と記載する。

【0038】

なお、符号生成部 4 は、送信符号 C_n として相補符号のペアを生成するには、2 個の送信周期 ($2 T_r$) を用いて、送信周期毎に交互にペアとなる送信符号 P_n 、 Q_n をそれぞれ生成する。即ち、符号生成部 4 は、第 M 番目の送信周期では相補符号のペアを構成する一方の送信符号 P_n を生成して変調部 5 に出力し、続く第 ($M+1$) 番目の送信周期では相補符号のペアを構成する他方の送信符号 Q_n を生成して変調部 5 に出力する。同様に、符号生成部 4 は、第 ($M+2$) 番目以降の送信周期では、第 M 番目及び第 ($M+1$) 番目の 2 個の送信周期を一つの単位として、送信符号 P_n 、 Q_n を繰り返し生成して変調部 5 に出力する。

10

【0039】

変調部 5 は、符号生成部 4 から出力された送信符号 C_n を入力し、入力された送信符号 C_n をパルス変調し、数式 (2) のベースバンドの送信信号 $r(k_{Tx}, M)$ を生成する。パルス変調は、振幅変調、A S K (Amplitude Shift Keying) 又は位相変調 (P S K (Phase Shift Keying) であり、以下の各実施形態においても同様である。

【0040】

例えば位相変調 (P S K) は、符号系列 C_n が例えば $[-1, 1]$ の 2 値の位相変調では B P S K (Binary Phase Shift Keying) となり、符号系列 C_n が例えば $[1, -1, j, -j]$ の 4 値の位相変調では Q P S K (Quadrature Phase Shift Keying) 若しくは 4 相 P S K となる。即ち、位相変調 (P S K) では、I Q 平面上のコンスタレーションにおける所定の変調シンボルが割り当てられる。

20

【0041】

変調部 5 は、生成された送信信号 $r(k, M)$ のうち、予め設定された制限帯域以下の送信信号 $r(k, M)$ を、L P F 6 を介して D/A 変換部 7 に出力する。なお、L P F 6 は送信信号生成部 2 において省略されてもよく、以下の各実施形態でも同様である。

【0042】

D/A 変換部 7 は、変調部 5 から出力されたデジタルの送信信号 $r(k, M)$ をアナログの送信信号に変換する。D/A 変換部 7 は、アナログの送信信号を送信 R F 部 3 に出力する。

30

【0043】

送信 R F 部 3 は、基準信号発振器 L o により生成されたリファレンス信号に基づいて、リファレンス信号を所定倍数に通倍したキャリア周波数帯域の送信基準信号を生成する。送信 R F 部 3 の各部は、生成された送信基準信号に基づいて動作する。

【0044】

周波数変換部 8 は、D/A 変換部 7 から出力されたアナログの送信信号を入力し、入力された送信信号と送信基準信号とを用いて、ベースバンドの送信信号をアップコンバートする。周波数変換部 8 は、高周波 (例えばミリ波の帯域) のレーダ送信信号を生成し、生成されたレーダ送信信号を増幅器 9 に出力する。

40

【0045】

増幅器 9 は、周波数変換部 8 から出力されたレーダ送信信号を入力し、入力されたレーダ送信信号の信号レベルを所定の信号レベルに増幅し、送信アンテナ T x - a n t に出力する。増幅されたレーダ送信信号は、送信アンテナ T x - a n t を介して送信される。

【0046】

送信アンテナ T x - a n t は、送信 R F 部 3 から出力されたレーダ送信信号を送信する。図 4 に示すレーダ送信信号は、送信周期 T_r のうち送信区間 T_w の間に送信され、無信号区間 ($T_r - T_w$) の間には送信されない。

【0047】

50

なお、送信RF部3及び受信RF部10には、基準信号発振器Loにより生成されたリファレンス信号が所定倍に通倍された信号が共通に供給されている。これにより、送信RF部3及び複数の受信RF部の間の処理が同期する。

【0048】

なお、送信信号生成部2には、符号生成部4を設けず、送信信号生成部2により生成された送信符号 C_n を予め記憶する送信符号記憶部CMを設けてもよい（図5参照）。送信符号記憶部CMは、送信信号生成部2が相補符号のペアとなる送信符号を生成する場合に対応して、相補符号のペア、例えば、送信符号 P_n 及び Q_n を記憶してもよい。送信符号記憶部CMは、第1の実施形態に限らず、後述の各実施形態にも同様に適用できる。図5に示す送信信号生成部2rは、送信符号記憶部CM、送信符号制御部CT3、変調部5r、LPF6r及びD/A変換部7を含む。

10

【0049】

送信符号制御部CT3は、基準信号発振器Loから出力されたリファレンス信号を所定倍に通倍した基準クロック信号に基づいて、送信周期Tr毎に、送信符号 C_n （又は相補符号のペアを構成する送信符号 P_n ，送信符号 Q_n ）を、送信符号記憶部CMから巡回的に読み出して変調部5rに出力する。変調部5rに出力された以降の動作は上述した変調部5及びLPF6と同様のため、動作の説明は省略する。

【0050】

（レーダ受信部）

次に、レーダ受信部Rxの各部の構成を、図3を参照して説明する。

20

【0051】

図3に示すレーダ受信部Rxは、受信アンテナRx-antが接続された受信RF部10、及び信号処理部11を有する。受信RF部10は、増幅器12、周波数変換部13及び直交検波部14を有する。信号処理部11は、A/D変換部15，16、相関演算部17、加算部18、車高車速テンプレート生成部19、Nrep個の車高車速テンプレート相関演算部#p（pは1からNrepまでを示し、Nrepは所定の自然数）、出力選択部20及び検出結果出力部21を有する。

レーダ受信部Rxは、送信周期Tr毎に、信号処理部11における信号処理区間として周期的に演算する。

【0052】

次に、レーダ受信部Rxの各部の動作を詳細に説明する。

30

【0053】

受信アンテナRx-antは、レーダ送信部Txから送信されたレーダ送信信号が車両TKの車両反射部P（図1（a）参照）により反射された反射波信号を受信する。受信アンテナRx-antにて受信された受信信号は、受信RF部10に入力される。

【0054】

受信RF部10は、送信RF部3と同様に、基準信号発振器Loにより生成されたリファレンス信号に基づいて、リファレンス信号を所定倍に通倍したキャリア周波数帯域の受信基準信号を生成する。受信RF部10の各部は、生成された受信基準信号に基づいて動作する。

40

【0055】

増幅器12は、受信アンテナRx-antにて受信された高周波の受信信号を入力し、入力された受信信号の信号レベルを増幅して周波数変換部13に出力する。

【0056】

周波数変換部13は、増幅器12から出力された受信信号を入力し、入力された高周波の受信信号と受信基準信号とを用いて、高周波の受信信号をダウンコンバートする。周波数変換部13は、ベースバンドの受信信号を生成し、生成された受信信号を直交検波部14に出力する。

【0057】

直交検波部14は、周波数変換部13から出力された受信信号を直交検波することで、

50

同相信号 (In-phase signal) 及び直交信号 (Quadrature signal) を用いて構成される受信信号を生成する。直交検波部 14 は、生成された受信信号のうち、同相信号を A/D 変換部 15 に出力し、直交信号を A/D 変換部 16 に出力する。

【0058】

A/D 変換部 15 は、直交検波部 14 から出力されたベースバンドの同相信号を離散時刻 k 毎にサンプリングし、アナログデータの同相信号をデジタルデータに変換する。A/D 変換部 15 は、変換されたデジタルデータの同相信号成分を、相関演算部 17 に出力する。

【0059】

A/D 変換部 15 は、レーダ送信部 Tx により生成される送信信号 $r(k, M)$ の 1 つのパルス幅 (パルス時間) $T_p (= T_w / L_p)$ あたり N_s [個] をサンプリングする。即ち、A/D 変換部 15 のサンプリングレートは $(N_s \times L_p) / T_w = N_s / T_p$ となる。

10

【0060】

同様に、A/D 変換部 16 は、直交検波部 14 から出力されたベースバンドの直交信号に対して、A/D 変換部 15 と同様に動作し、変換されたデジタルデータの直交信号成分を、相関演算部 17 に出力する。また、A/D 変換部 16 のサンプリングレートは N_s / T_p となる。

【0061】

以下、A/D 変換部 15, 16 により変換された第 M 番目の送信周期 T_r の離散時刻 k における受信信号を、受信信号の同相信号成分 $I_r(k, M)$ 及び受信信号の直交信号成分 $Q_r(k, M)$ を用いて、数式 (2) の複素信号 $x(k, M)$ として表す。

20

【0062】

【数 2】

$$x(k, M) = I_r(k, M) + jQ_r(k, M) \dots (2)$$

【0063】

図 6 の第 1 段は、レーダ送信信号の送信タイミングを表す。図 6 の第 1 段では、離散時刻 k は、各レーダ送信周期 T_r が開始するタイミングを基準 ($k = 1$) とし、信号処理部 11 は、レーダ送信周期 T_r が終了する前までのサンプル点である $k = N_s (N_r + N_u) / N_o$ までの動作を周期的におこなう。即ち、信号処理部 11 は、離散時刻 $k = 1 \sim N_s (N_r + N_u) / N_o$ において周期的に動作する。離散時刻 $k = N_s (N_r / N_o)$ は、各送信周期 T_r における送信区間 T_w の終了直前時点を示す。以下、A/D 変換部 15, 16 から出力されたデジタルの受信信号 $x(k, M)$ を「離散サンプル値 $x(k, M)$ 」という。

30

【0064】

相関演算部 17 は、A/D 変換部 15, 16 から出力された各離散サンプル値 $I_r(k, M)$, $Q_r(k, M)$ 、即ち受信信号としての離散サンプル値 $x(k, M)$ を入力する。相関演算部 17 は、リファレンス信号を所定倍に通倍された受信基準クロック信号に基づいて、離散時刻 k 毎に、図 6 の第 1 段に示す各送信周期 T_r において送信される符号長 L_p の送信符号 C_n を周期的に生成する。 n は $1 \sim L_p$ であり、 L_p は符号系列 C_n の符号長を表す。

40

【0065】

相関演算部 17 は、入力された離散サンプル値 $x(k, M)$ と送信符号 C_n とのスライディング相関値 $AC(k, M)$ を演算する。 $AC(k, M)$ は、離散時刻 k におけるスライディング相関値を表す。以下、スライディング相関値を、単に相関値という。

【0066】

具体的には、相関演算部 17 は、図 6 の第 1 段に示す各送信周期 T_r 、即ち各離散時刻 $k = 1 \sim N_s (N_r + N_u) / N_o$ に対して、数式 (3) に従って相関値 $AC(k, M)$

50

を演算する。相関演算部 17 は、数式 (3) に従って演算された離散時刻 k 毎の相関値 $AC(k, M)$ を加算部 18 に出力する。* (アスタリスク) は、複素共役演算子である。

【0067】

【数3】

$$AC(k, M) = \sum_{n=1}^{Lp} x(k + Ns(n-1), M) C_n^* \dots (3)$$

【0068】

図6の第2段及び第3段は、レーダ送信信号に対する受信タイミングを表す。図6の第2段では、レーダ送信信号の送信開始時から遅延時間 τ_1 の経過後に受信アンテナ Rx antenna において受信信号が受信された場合の測定期間の範囲が示されている。図6の第3段では、レーダ送信信号の送信開始時から遅延時間 τ_2 の経過後に受信アンテナ Rx antenna において受信信号が受信される場合の測定期間の範囲が示されている。遅延時間 τ_1 及び τ_2 は、それぞれ数式 (4) 及び (5) により示される。

【0069】

【数4】

$$\tau_1 = Tp \times (Lp + 1) \dots (4)$$

【0070】

【数5】

$$\tau_2 = Tp \times \left\{ \frac{(Nr + Nu)}{No} - Lp \right\} \dots (5)$$

【0071】

相関演算部 17 は、本実施形態を含む各実施形態において、離散時刻 $k = 1 \sim Ns(Nr + Nu) / No$ において演算する。なお、相関演算部 17 は、レーダ装置 1 の測定対象となる車両 TK の存在範囲に応じて、測定レンジ、即ち離散時刻 k の範囲を限定してもよい。これにより、レーダ装置 1 は、相関演算部 17 の演算量を更に低減できる。即ち、レーダ装置 1 は、信号処理部 11 における演算量の削減に基づく消費電力量を更に低減できる。

【0072】

また、レーダ装置 1 は、相関演算部 17 が離散時刻 $k = Ns(Lp + 1) \sim Ns(Nr + Nu) / No - NsLp$ の範囲における相関値 $AC(k, M)$ を演算する場合には、レーダ送信信号の送信区間 Tw における反射波信号の測定を省略できる。

【0073】

レーダ装置 1 は、レーダ送信信号がレーダ受信部 Rx に直接的に回り込んだとしても、回り込みによる影響を排除して測定できる。また、測定レンジ（離散時刻 k の範囲）を限定する場合、加算部 18 以降の各部も同様の限定された測定レンジにおいて動作するため、各部の処理量を削減でき、レーダ装置 1 における消費電力を低減できる。

【0074】

加算部 18 は、相関演算部 17 から出力された離散時刻 k 毎の相関値 $AC(k, M)$ を入力する。加算部 18 は、第 M 番目の送信周期 Tr において離散時刻 k 毎に演算された相関値 $AC(k, M)$ を基に、所定回数 (Nc 回) の送信周期 Tr の期間 ($Nc \times Tr$) にわたって相関値 $AC(k, M)$ を加算する。

【0075】

具体的には、加算部 18 は、所定回数 (Nc 回) の送信周期 Tr の期間 ($Nc \times Tr$) にわたる相関値 $AC(k, M)$ の離散時刻 k 毎の加算により、第 m 番目の加算相関値 $CI(k, m)$ を、離散時刻 k 毎に数式 (6) に従って演算する。Nc は、加算部 18 における加算回数を表す。m は、加算部 18 の加算回数 Nc を 1 個の単位とした場合における加算回数の序数を表す。加算部 18 は、加算された相関値 $CI(k, m)$ を、Nrep 個の

10

20

30

40

50

車高車速テンプレート相関演算部 # p に出力する。p = 1 から N r e p までであり、N r e p は所定の自然数である。

【0076】

【数6】

$$CI(k, m) = \sum_{g=1}^{Nc} AC(k, Nc(m-1) + g) \dots (6)$$

【0077】

加算部18は、相関値AC(k, M)のNc回の加算により車両TKからの反射波信号が高い相関を有する時間範囲において、反射波信号に含まれる雑音成分を抑圧し、反射波信号の受信品質(SNR: Signal to Noise Ratio)を改善できる。更に、加算部18は、反射波信号の受信品質を改善できるので、車両TKの車高及び車速の推定精度を向上できる。

10

【0078】

なお、理想的な加算利得を得るためには、相関値AC(k, M)の加算回数Ncの加算区間において相関値AC(k, M)の位相成分がある程度の範囲に揃う必要がある。つまり、ターゲットが移動している場合、移動にともなう位相成分の変動が生じるため、加算回数Ncは、車両TKの想定最大移動速度を基に設定されることが好ましい。車両TKの想定最大移動速度が大きいほど、車両TKからの反射波信号に含まれるドップラ周波数の変動量が大きく、高い相関値を有する離散時間間隔が短くなる。このため、加算回数Ncが小さくなり、加算部18の加算による利得向上効果が小さくなる。

20

【0079】

なお、本実施形態を含む各実施形態では、N r e p 個の車高車速テンプレート相関演算部 # 1 ~ # N r e p の前段に加算部18が設けられる。これにより、加算部18の加算演算によって相関演算部17の出力の加算利得を得られ、更に、サンプル点のダウンサンプル効果が得られるため、各車高車速テンプレート相関演算部のテンプレート長を低減できる。即ち、各々の車高車速テンプレート相関演算部のバッファサイズの回路規模を低減できる。

【0080】

30

なお、本実施形態を含む各実施形態のレーダ装置に加算部を設けなくても良いが(Nc = 0)、サンプル点のダウンサンプル効果が得られないため、各々の車高車速テンプレート相関演算部の演算量を増加することで対応できる。

【0081】

車高車速テンプレート生成部19は、図7(a)及び(b)に示す性質を基に、レーダ装置1と走行する車両の位置関係を示すパラメータから、車両におけるレーダ送信信号の反射点を多様な車種の形状を基に想定した車高車速テンプレートを生成する。例えば、図7(a)はアンテナ高5m、車両高3m、周波数60GHzにおける行路差の変化を示すグラフであり、図7(b)はアンテナ高5m、車両高3m、周波数60GHzにおける位相成分の変化を示すグラフである。

40

【0082】

ここで、車高車速テンプレート生成部19が着目する性質について説明する。図7(a)では、車両反射部Pにより反射された反射波信号には、車両反射部Pがレーダ送信信号のビーム幅 θ_{BW} 以内(例えば20°程度)を移動する間に、路面GNDから車両反射部Pまでの高さz及びレーダ装置1の直下から車両反射部PまでのY軸方向の距離Lに依存する行路差 $2(D(\theta(L, z)) - D(\theta(0, 3)))$ が生じる(数式(7), (8)参照)。なお、図7(a)における行路差の基準はレーダ装置1の直下としている。

【0083】

【数 7】

$$D(\theta(L, z)) = \frac{(H - z)}{\cos(\theta(L, z)) \cos \gamma(z)} \dots (7)$$

【0084】

【数 8】

$$\theta(L, z) = \tan^{-1} \left(\frac{L}{H - z} \right) \dots (8)$$

10

【0085】

従って、レーダ送信信号の車両反射部 P にて反射された反射波信号がレーダ装置 1 において受信されるまでの遅延時間 T_d は、数式 (9) により示される。C は光速を表す。また、図 7 (b) では、車両反射部 P にて反射された反射波信号には、 $\exp(j 4 \pi D(\theta(L, z)) / \lambda)$ の位相変化が生じる。L は、レーダ装置 1 の直下を 0 (ゼロ) として L_{min} から L_{max} の範囲を可変する。なお、 L_{min} から L_{max} はビーム幅 θ_B に含まれる範囲の Y 軸上の位置に対応する。

【0086】

【数 9】

20

$$T_d = \frac{2D(\theta(L, z))}{C} \dots (9)$$

【0087】

車高車速テンプレート生成部 19 は、図 7 (a) 及び (b) に示す性質を基に、1 台の車両 TK において、複数の車高 z_u 及び車速 v_q [m/s] の組合せに応じた反射波信号の位相変化を、テンプレート $REP_{\#p}[z_u, v_q]$ として数式 (10) に従って生成する。

【0088】

30

数式 (10) において、 $\#p$ は、合計 N_{rep} 個となる車高 z_u 及び車速 v_q のパラメータセットの組合せの序数を表し、 $\#p$ は #1 から N_{rep} までである。それぞれ自然数である u と q と N_{rep} との間には、 $u \times q = N_{rep}$ が成り立つ。また、 n_i は、テンプレート $REP_{\#p}[z_u, v_q]$ の位相成分のサンプル数であって、0 から $\text{floor}[(L_{max} - L_{min}) / (v_q \times Trs)]$ までである。 $\text{floor}[x]$ は、 x の小数点を切り捨てる演算子である。 Trs は A/D 変換部 15, 16 のサンプリング周期を表し、 $Trs = T_p / N_s$ である。

【0089】

【数 10】

$$REP_{\#p}[z_u, v_q](n_i) = \exp(j \frac{4\pi D(\theta(L_{min} + v_q \times Trs \times n_i, z_u))}{\lambda}) \dots (10)$$

40

【0090】

図 8 はアンテナ高 5 m、同一車両高 3 m、周波数 60 GHz における車速毎のテンプレートの位相の実成分の変化を示すグラフであって、図 8 (a) では車速が 30 km/h の場合、図 8 (b) では車速が 60 km/h の場合、図 8 (c) では車速が 90 km/h の場合、図 8 (d) では車速が 120 km/h の場合が示されている。車高が同じ場合には、車速に応じて時間軸方向に伸長する波形となる。

【0091】

50

なお、車高車速テンプレート生成部 19 は、複数の車高 z_u 及び車速 v_q の組合せに応じた反射波信号の位相変化を所定ビット数（例えば、1 ビット又は 2 ビット）にて量子化したテンプレートを生成しても良い。1 ビットにて量子化するとテンプレートは 2 値を用いて表現でき、2 ビットにて量子化するとテンプレートは 4 値を用いて表現できる。従って、車高車速テンプレート生成部 19 の記憶容量を削減でき、各々の車高車速テンプレート相関演算部 # 1 ~ # N r e p の回路規模を低減できる。

【0092】

なお、本実施形態では、車両走行レーンを走行する車両高をひとつのパラメータとして、車高車速テンプレートを生成する説明を行ったが、車高 z の代わりにレーダ装置 1 と検出するエリア内を通過する車両 T K との位置関係を表すパラメータ（位置パラメータ）を用いたテンプレートを生成しても良い。

10

【0093】

例えば、レーダ装置 1 と検出するエリア内を通過する車両 T K との位置関係を表すパラメータとして、レーダ装置 1 からの距離（= $H - z$ ）を用いることができ、また、レーダ装置 1 の位置は、レーダ装置 1 の設置時に測定できるため、レーダ装置 1 から車両 T K までの距離を求めることで、車両 T K の位置も求めることができ、レーダ装置 1 からの距離と行路 $D(\theta(L, z))$ との関係から車両距離／車速テンプレートとして生成しても同様な効果が得られる。また、以下の各実施形態においても同様である。

【0094】

各々の車高車速テンプレート相関演算部 # 1 ~ # N r e p の動作は同様のため、車高車速テンプレート相関演算部 # p を例示して説明する。車高車速テンプレート相関演算部 # p は、p 番目のテンプレート $REP_{\#p}[z_u, v_q](n_i)$ のサンプル数を表すテンプレート長 $Length(REP_{\#p})$ （数式（11）参照）と、離散時刻 k 毎に得られた加算部 18 の $Length(REP_{\#p})$ 個の $CI(k, m)$ とを用いて、数式（12）に従って離散時刻 k のタイミングを揃えて相関演算する。車高車速テンプレート相関演算部 # p は、相関演算の結果としての相関値 $HV_CI(k, p, m)$ を出力選択部 20 に出力する。

20

【0095】

【数 11】

$$Length(REP_{\#p}) = floor[\frac{L_{max} - L_{min}}{v_q \times Trs}] \dots (11)$$

30

【0096】

【数 12】

$$HV_CI(k, p, m) = \frac{1}{Length(REP_{\#p}[z_u, v_q])} \sum_{n_i=1}^{Length(REP_{\#p}[z_u, v_q])} CI(k, m + n_i) REP_{\#p}^*[z_u, v_q](n_i) \dots (12)$$

40

【0097】

出力選択部 20 は、合計 N r e p 個の車高車速テンプレート相関演算部 # p（p は 1 から N r e p までの自然数）からの各相関値 $HV_CI(k, p, m)$ を基に、所定の閾値 TH_Level を超える相関値 $HV_CI(k, p, m)$ があるか否かを判定する。出力選択部 20 は、所定の閾値 TH_Level を超える相関値 $HV_CI(k, p, m)$ があると判定した場合に、即ち、数式（13）が成立する場合に、車両 T K がレーダ装置 1 のビーム幅 θ_{BW} 以内を通過したとして、車両 T K を車両流量のための車両通過数としてカウントする。p s e l は、数式（13）が成立するテンプレートの序数を表す。

【0098】

50

【数 1 3】

$$HV_CI(k, p_{sel}, m) > TH_Level \dots (13)$$

【0099】

出力選択部 20 は、テンプレート $REP_{\#p_{sel}}[z_u, v_q](n_i)$ に対応する車高 z_u 及び車速 v_q を、車両 TK の車高及び車速の推定値として選択し、更に、車種判別する。出力選択部 20 は、車種判別として、例えば車高を基にして大型車又は小型車のいずれであるかを判別する。出力選択部 20 は、車高及び車速の推定値並びに車種判別結果を検出結果出力部 21 に出力する。

10

【0100】

なお、数式 (13) を満たす車高車速テンプレート相関演算部の出力が複数ある場合には、出力選択部 20 は、複数の相関値 $HV_CI(k, p_{sel}, m)$ のうち、最大値を用いて、車両 TK の車高及び車速の推定値を選択しても良い。

【0101】

又は、出力選択部 20 は、数式 (13) を満たす複数の車高車速テンプレート相関演算部の各相関値を用いて補間処理して車両 TK の車高及び車速の推定値を選択しても良い。これにより、レーダ装置 1 は、テンプレート数を増加させずに、車両 TK の車高及び車速の推定精度を向上でき、回路規模を低減できる。

【0102】

20

検出結果出力部 21 は、道路交通量を監視する交通システム（不図示）に、出力選択部 20 からの出力情報（車両 TK の車種判別結果、車高及び車速の推定値）を、所定のインターフェースのネットワークを介して送信する。

【0103】

以上により、本実施形態のレーダ装置 1 は、車両 TK の車高及び車速に応じた反射波信号における位相変化のテンプレートと反射波信号との相関演算により、車両 TK の形状によって車両 TK の車両反射部 P からの反射波信号の受信レベルが小さい場合でも、車高及び車速の推定精度を改善できる。更に、レーダ装置 1 は、反射波信号とレーダ送信信号との相関値を所定回数加算しているため、反射波信号の SNR を向上でき、車高及び車速の推定精度をより改善できる。

30

【0104】

また、レーダ装置 1 は地面から高さ H の高所に設置され、レーダ装置 1 の直下に近いビーム幅 θ_{BW} 程度の範囲ではドップラ周波数の変動量に起因する反射波信号の位相変化量は小さい。このため、レーダ装置 1 は、A/D 変換部 15、16 を低速なサンプリングレートにでき、回路規模を低減できる。

【0105】

なお、車高車速テンプレート生成部 19 は、1 台の車両 TK において、複数の車高 z_u 及び車速 v_q [m/s] の組合せに応じた反射波信号の位相変化の実数成分或いは虚数成分を用いてテンプレートを、数式 (14) に従って生成しても良く、以降の各実施形態においても同様である。数式 (14) において、 $Re[x]$ は、複素数 x の実数値を与える演算子である。

40

【0106】

【数 1 4】

$$\begin{aligned}
 REP_{\#p}[z_u, v_q](n_i) &= \text{Re} \left[\exp(j \frac{4\pi D(\theta(L_{\min} + v_q \times Trs \times n_i, z_u))}{\lambda}) \right] \\
 &= \cos(\frac{4\pi D(\theta(L_{\min} + v_q \times Trs \times n_i, z_u))}{\lambda}) \dots (14)
 \end{aligned}$$

【0107】

10

車高車速テンプレート相関演算部 # p は、p 番目のテンプレート $REP_{\#p}[z_u, v_q](n_i)$ のサンプル数を表すテンプレート長 $Length(REP_{\#p})$ (数式 (14) 参照) と、離散時刻 k 毎に得られた加算部 18 の $Length(REP_{\#p})$ 個の $CI(k, m)$ とを用いて、数式 (12) に従って離散時刻 k のタイミングを揃えて相関演算する。出力選択部 20 以降の処理は同様であるため、説明を省略する。

【0108】

なお、車高車速テンプレート生成部 19 は、1 台の車両 TK において、複数の車高 z_u 及び車速 v_q [m/s] の組合せに応じた反射波信号の位相変化の虚数成分を用いてテンプレートを、数式 (15) に従って生成しても良く、以降の各実施形態においても同様である。数式 (15) において、 $Im[x]$ は、複素数 x の実数値を与える演算子である。

20

【0109】

【数 1 5】

$$\begin{aligned}
 REP_{\#p}[z_u, v_q](n_i) &= \text{Im} \left[\exp(j \frac{4\pi D(\theta(L_{\min} + v_q \times Trs \times n_i, z_u))}{\lambda}) \right] \\
 &= \sin(\frac{4\pi D(\theta(L_{\min} + v_q \times Trs \times n_i, z_u))}{\lambda}) \dots (15)
 \end{aligned}$$

30

【0110】

車高車速テンプレート相関演算部 # p は、p 番目のテンプレート $REP_{\#p}[z_u, v_q](n_i)$ のサンプル数を表すテンプレート長 $Length(REP_{\#p})$ (数式 (15) 参照) と、離散時刻 k 毎に得られた加算部 18 の $Length(REP_{\#p})$ 個の $CI(k, m)$ とを用いて、数式 (12) に従って離散時刻 k のタイミングを揃えて相関演算する。出力選択部 20 以降の処理は同様であるため、説明を省略する。

【0111】

なお、本実施形態では、レーダ装置 1 は所定の符号長 L_p の符号系列を用いてレーダ送信信号を生成する動作を説明したが、レーダ装置 1 は、単パルス、即ち符号長 $L_p = 1$ の符号を用いてレーダ送信信号を生成しても良い。その場合、レーダ送信部 Tx は、符号長 $L_p = 1$ の単パルス C_1 の送信符号を用いてレーダ送信信号を生成する。

40

【0112】

レーダ受信部 Rx では、相関演算部 17 は、送信周期 Tr 毎に、A/D 変換部 15、16 からの離散サンプル値 $x(k, M)$ と符号長 $L_p = 1$ の単パルス C_1 とを用いて相関演算する。相関演算部 17 は、第 M 番目の送信周期 Tr における相関値を、数式 (3) に従って演算する。

【0113】

なお、本実施形態では、各々の車高車速テンプレート相関演算部は、車速 v_q に応じたテンプレート長を用いて相関演算した。また、各々の車高車速テンプレート相関演算部は、各々の車高車速テンプレート相関演算部が用いるテンプレート長が同程度となるように

50

、テンプレート及び加算部 18 の出力を、間引き処理又はダウンサンプル処理した後に相関演算しても良い。

【0114】

なお、本実施形態では、各々の車高車速テンプレート相関演算部は、車速 v_q に応じたテンプレート長を用いて、時間領域での相関演算を行ったが、これに限定されず、例えば、高速フーリエ変換処理を用いて周波数領域に変換し、周波数領域での相関演算を行っても同様な効果が得られる。

【0115】

即ち、車高車速テンプレート相関演算部 # p は、p 番目のテンプレート $REP_{\#p}[z_u, v_q]$ (n_i) と、離散時刻 k 毎に得られた加算部 18 の $Length(REP_{\#p})$ 個の $CI(k, m)$ とを用いて、それぞれ周波数領域に変換する FFT サイズ $N_FFT(\#p)$ の FFT 演算を施し、得られた周波数要素毎の積演算を、数式 (16) を用いて行う。

【0116】

【数 16】

$$HV_CI(k, p, m) = \frac{1}{Length(REP_{\#p}[z_u, v_q])} \times$$

$$IFFT[FFT[CI(k, m+1), CI(k, m+Length(REP_{\#p}[z_u, v_q]))] \otimes \frac{1}{FFT[REP_{\#p}^*[z_u, v_q]]}] \dots (16)$$

⊗はFFT演算によって得られた周波数要素毎の積演算を示す。

【0117】

この場合、FFT サイズ $N_FFT(\#p)$ は、テンプレート長 $Length(REP_{\#p})$ を超えるサイズとして、テンプレート長 $Length(REP_{\#p})$ を超えるデータはゼロ埋めする。なお、FFT サイズは 2 の冪乗 (2 の累乗) とすることが望ましい。

【0118】

ここで、IFFT は FFT サイズ $N_FFT(\#p)$ の逆フーリエ変換を表す。周波数領域を利用した相関演算は、時間領域による相関演算に比べ回路規模を低減できる。

【0119】

なお、テンプレート $REP_{\#p}[z_u, v_q]$ (n_i) を周波数領域に変換する FFT 演算結果を予め実施し、車高車速テンプレート生成部 19 に記憶しても良い。テンプレートに対する周波数領域に変換する FFT 演算が不要になるため回路規模を低減できる。

【0120】

離散時刻 k のタイミングを揃えて相関演算する、車高車速テンプレート相関演算部 # p は、相関演算の結果としての相関値 $HV_CI(k, p, m)$ を出力選択部 20 に出力する。

【0121】

図 9 は、第 1 の実施形態の変形例における車高車速テンプレート相関演算部 # p の内部構成を示すブロック図である。車高車速テンプレート相関演算部 # p は、車速 v_q 用ダウンサンプル部 31 p 及び車速 v_q 用テンプレート相関演算部 32 p を含む構成である。

【0122】

車速 v_q 用ダウンサンプル部 31 p は、加算部 18 からの出力 $CI(k, m)$ を、所定の $\Delta m(v_q)$ の間隔において間引き処理又はダウンサンプル処理する。 $\Delta m(v_q)$ は、数式 (17) により示される。 v_{max} は、車両 TK の想定最大速度である。車速 v_q 用ダウンサンプル部 31 p は、間引き処理又はダウンサンプル処理後の相関値を、車速 v_q 用テンプレート相関演算部 32 p に出力する。

【0123】

【数 1 7】

$$\Delta m(v_q) = \text{floor}\left[\frac{v_{\max}}{v_q}\right] \dots (17)$$

【0 1 2 4】

車速 v_q 用テンプレート相関演算部 3 2 p は、p 番目のテンプレート $REP_{\#p}[z_u, v_q]$ (n_i) のサンプル数を表すテンプレート長 $Length(REP_{\#p})$ と、離散時刻 k 毎に得られた加算部 1 8 の $Length(REP_{\#p})$ 個の相関値が $\Delta m(v_q)$ の間隔において間引き処理又はダウンサンプル処理された相関値とを用いて、数式 (1 8) に従って離散時刻 k のタイミングを揃えて相関演算する。車速 v_q 用テンプレート相関演算部 3 2 p は、相関演算の結果としての相関値 $HV_CI(k, p, m)$ を出力選択部 2 0 に出力する。

10

【0 1 2 5】

【数 1 8】

$$HV_CI(k, p, m) =$$

$$\frac{1}{\text{floor}\left[\frac{Length(REP_{\#p}[z_u, v_q])}{\Delta m(v_q)}\right]} \times$$

20

$$\sum_{n_i=1}^{Length(REP_{\#p}[z_u, v_q])} CI(k, m + (n_i - 1)\Delta m(v_q) + 1) REP_{\#p}^*[z_u, v_q]((n_i - 1)\Delta m(v_q) + 1) \dots (18)$$

【0 1 2 6】

従って、車両 TK の車速 v_q が低速なほど間引き間隔又はダウンサンプル間隔 $\Delta m(v_q)$ が大きくなる。これにより、レーダ装置 1 は、各々の車高車速テンプレート相関演算部の演算量及び演算に必要なバッファ量を低減でき、車両 TK の車高及び車速の推定精度の劣化を抑制し、更に、回路規模を低減できる。

30

【0 1 2 7】

(第 2 の実施形態：レーダ装置 1 A)

図 1 0 (a) は第 2 の実施形態のレーダ装置 1 A の YZ 平面上における配置状況を示す模式図、図 1 0 (b) は第 2 の実施形態のレーダ装置 1 A の XZ 平面上における配置状況を示す模式図である。図 1 0 (a) 及び (b) において、原点、各軸 (X 軸, Y 軸, Z 軸) は図 1 (a) 及び (b) と同様のため、説明を省略する。車高 z を有する車両 TK は、車速 v にて +Y 軸方向に走行する。

【0 1 2 8】

第 2 の実施形態では、レーダ装置 1 A の設置場所は第 1 の実施形態のレーダ装置 1 と同様であるが、レーダ装置 1 の俯角 ($\phi = 90^\circ$) と異なり、レーダ装置 1 A の俯角 $\phi \neq 90^\circ$ とする (図 1 0 (a) 参照)。具体的には、レーダ装置 1 A の俯角 ϕ は、ビーム幅 θ_{BW} 以内に、レーダ装置 1 A の直下の行路 D (0) が含まれる方向、即ち、 $\theta = 0$ となる場合のレーダ送信信号の行路が含まれる方向である (図 1 0 (a) 参照)。俯角 ϕ とビーム幅 θ_{BW} とには数式 (1 9) が成り立つ。レーダ装置 1 A の車両走行レーン方向のビーム幅 θ_{BW} に含まれる θ の範囲は、数式 (2 0) に示される。なお、数式 (2 0) は第 1 の実施形態のレーダ装置 1 においても成立しても良い。

40

【0 1 2 9】

【数 1 9】

$$\frac{\pi}{2} - 0.5\theta_{BW} \leq \phi \leq \frac{\pi}{2} \dots (19)$$

【0 1 3 0】

【数 2 0】

$$-\frac{\theta_{BW}}{2} + \frac{\pi}{2} - \phi \leq \theta \leq \frac{\theta_{BW}}{2} + \frac{\pi}{2} - \phi \dots (20)$$

10

【0 1 3 1】

従って、第 2 の実施形態では、レーダ装置 1 A の直下における行路 D (0) (= (H - z) / cos γ (z)、数式 (7) 参照) を、レーダ装置 1 A の離散時刻 k における測定レンジビン R_{k(z)} (以下、単に「R_k」とも表記する) に対応付けできる。測定レンジビンは、離散時刻 k における離散サンプル値 x (k, M) に対応するレーダ装置 1 A からの距離である。測定レンジビン R_{k(z)} は、数式 (21) により示される。離散時刻 k (z) (以下、単に「k」とも表記する) は数式 (22) により示される。ΔR は、A/D 変換部 15, 16 のサンプリング周期 T_{rs} 当たりの距離に相当し、ΔR = T_{rs} × C / 2 である。

20

【0 1 3 2】

【数 2 1】

$$R_{k(z)} = \Delta R \times (k(z) - 1) \dots (21)$$

【0 1 3 3】

【数 2 2】

$$k(z) = \text{floor} \left[\frac{(H - z)}{\Delta R \cos \gamma(z)} \right] + 1 \dots (22)$$

30

【0 1 3 4】

また、レーダ受信部 R_x における離散時刻 (サンプルタイミング) k における測定レンジビン R_k は、距離範囲 Range (k) にある車両 TK からの反射波信号を含むため、数式 (23) が成立する。このため、レーダ装置 1 A は、数式 (24) を満たす車高 z_u のテンプレートを用いて、加算部 18 の出力を相関演算する。

【0 1 3 5】

【数 2 3】

$$\Delta R \times (k - 1) \leq \text{Range}(k) \leq \Delta R \times k \dots (23)$$

40

【0 1 3 6】

【数 2 4】

$$\Delta R \times (k(z) - 1) \leq \frac{H - z}{\cos \gamma(z)} \leq \Delta R \times k(z) \dots (24)$$

【0 1 3 7】

図 11 は、第 2 の実施形態のレーダ装置 1 A の内部構成を詳細に示すブロック図である。第 2 の実施形態では、第 1 の実施形態と異なる内容について説明し、第 1 の実施形態と

50

同様な内容の説明は省略する。レーダ装置 1 A は、基準信号発振器 L o、レーダ送信部 T x 及びレーダ受信部 R x A を含む。

【0138】

レーダ受信部 R x A は、受信アンテナ R x - a n t が接続された受信 R F 部 1 0 及び信号処理部 1 1 A を有する。信号処理部 1 1 A は、A / D 変換部 1 5、1 6、相関演算部 1 7、加算部 1 8、距離選択出力部 3 5、車高車速テンプレート生成部 1 9 A、合計 N p k 個の車高車速テンプレート相関演算部 # s (s は 1 以上 N p k までの自然数、s < p)、出力選択部 2 0 A 及び検出結果出力部 2 1 を有する。

【0139】

車高車速テンプレート生成部 1 9 A は、数式 (24) を満たす車高 $z_{u(k)}$ と所定の車速検出範囲の車速 v_q との組合せに応じた反射波信号の位相変化を、テンプレート $REP_{\#s(k)}[z_{u(k)}, v_q](n_i)$ として数式 (25) に従って生成する。数式 (25) において、 $\#s(k)$ は合計 N p k 個 ($N p k < N r e p$) となる車高 $z_{u(k)}$ 及び車速 v_q のパラメータセットの組合せの序数を表し、s は 1 以上 N p k までの自然数である。それぞれ自然数である u (k) と q と N p k との間には、 $u(k) \times q = N p k$ が成り立つ。

【0140】

【数 2 5】

$$REP_{\#s(k)}[z_{u(k)}, v_q](n_i) = \exp(j \frac{4\pi D(\theta(L_{\min} + v_q \times Trs \times n_i, z_{u(k)}))}{\lambda}) \dots (25)$$

【0141】

なお、離散時刻 k (z) における測定レンジビン $R_{k(z)}$ に対し、数式 (24) を満たす車高 $z_{u(k)}$ の範囲が、レーダ装置 1 A が推定する車両 T K の車高の規定の範囲 [$z_{\min}, z_{\max}$] に含まれていない場合、車高車速テンプレート生成部 1 9 A はテンプレートを生成しないため、 $\#s(k) = 0$ となる。

【0142】

なお、車高車速テンプレート生成部 1 9 A は、数式 (24) を満たし、且つ、数式 (20) の θ の範囲における各行路 $D(-\theta_{BW}/2 + \pi/2 - \phi)$, $D(\theta_{BW}/2 + \pi/2 - \phi)$ が Range (k) の前後の範囲である Range (k-1), Range (k+1) にそれぞれ含まれない範囲となる場合の車高 $z_{u(k)}$ の範囲を用いて、数式 (25) に従ってテンプレートを生成しても良い。

【0143】

これにより、各々の車高車速テンプレート相関演算部の相関演算結果としてのピーク相関値が複数の測定レンジビンを跨らないため、相関演算に用いられるテンプレートの数が絞られ、信号処理部 1 1 A の処理量が低減する。

【0144】

距離選択出力部 3 5 は、加算部 1 8 から出力された加算後の相関値 C I (k, m) を基に次のように処理する。具体的には、距離選択出力部 3 5 は、離散時刻 k (z) における測定レンジビン $R_{k(z)}$ に対して数式 (24) を満たす車高 $z_{u(k)}$ の範囲が [$z_{\min}, z_{\max}$] に含まれていない場合、即ち、 $\#s(k) = 0$ では、加算部 1 8 の出力を無視する。或いは、相関演算部 1 7 又は加算部 1 8 は、相関演算部 1 7 及び加算部 1 8 における演算において、 $\#s(k) = 0$ となる離散時刻 k の演算結果を予め除いても良い。これにより、距離選択出力部 3 5 の処理量が低減する。

【0145】

距離選択出力部 3 5 は、離散時刻 k における測定レンジビン $R_{k(z)}$ に対して数式 (24) を満たす車高 $z_{u(k)}$ の範囲が [$z_{\min}, z_{\max}$] に含まれている場合、即ち、 $\#s(k) > 0$ では、加算部 1 8 から出力された加算後の相関値 C I (k, m) を、離散時刻 k (z) の測定レンジビン $R_{k(z)}$ におけるテンプレート $REP_{\#s(k)}[$

$z_u(k), v_q](n_i)$ に対応する車高車速テンプレート相関演算部 # s に出力する。なお、 Npk は # $s(k) > 0$ となる離散時刻 k の個数に対応する。

【0146】

各々の車高車速テンプレート相関演算部 # $1 \sim \# Npk$ の動作は同様のため、車高車速テンプレート相関演算部 # s を例示して説明する。車高車速テンプレート相関演算部 # s は、離散時刻 k_s における測定レンジビン R_{k_s} に応じたテンプレート $REP_{\#s(k_s)}[z_u(k), v_q](n_i)$ と距離選択出力部 35 の出力 ($CI(k_s, m)$) とを基に相関演算する。

【0147】

具体的には、車高車速テンプレート相関演算部 # s は、 s 番目のテンプレート $REP_{\#s(k_s)}[z_u(k), v_q](n_i)$ のサンプル数を表すテンプレート長 $Length(REP_{\#s(k_s)})$ (数式 (11) 参照) と、離散時刻 k_s 毎に得られた距離選択出力部 35 の $Length(REP_{\#s(k_s)})$ 個の $CI(k_s, m)$ とを用いて、数式 (26) に従って離散時刻 k_s のタイミングを揃えて相関演算する。車高車速テンプレート相関演算部 # s は、相関演算の結果としての相関値 $HV_CI(k_s, s(k_s), m)$ を出力選択部 20A に出力する。

【0148】

【数26】

$$HV_CI(k_s, s(k_s), m) = \frac{1}{Length(REP_{\#s(k_s)}[z_u, v_q])} \sum_{n_i=1}^{Length(REP_{\#s(k_s)}[z_u, v_q])} CI(k_s, m + n_i) REP_{\#s(k_s)}^*[z_u, v_q](n_i) \dots (26)$$

【0149】

出力選択部 20A は、合計 Npk 個の車高車速テンプレート相関演算部 # $1 \sim \# Npk$ からの各相関値 $HV_CI(k_s, s(k_s), m)$ を基に、所定の閾値 TH_Level を超える相関値 $HV_CI(k_s, s(k_s), m)$ があるか否かを判定する。出力選択部 20A は、所定の閾値 TH_Level を超える相関値があると判定した場合に、即ち、数式 (27) が成立する場合に、車両 TK がレーダ装置 1A のビーム幅 θ_{BW} 以内を通過したとして、車両 TK を車両流量のための車両通過数としてカウントする。 s_{sel} は、数式 (27) が成立する場合のテンプレートの序数を表す。

【0150】

【数27】

$$HV_CI(k_s, s_{sel}, m) > TH_Level \dots (27)$$

【0151】

出力選択部 20A は、テンプレート $REP_{\#s_{sel}}[z_u(k), v_q](n_i)$ に対応する車高 $z_u(k)$ 及び車速 v_q を、車両 TK の車高及び車速の推定値として選択し、更に、車種判別する。出力選択部 20A は、車種判別として、例えば車高を基にして大型車又は小型車のいずれであるかを判別する。出力選択部 20A は、車高及び車速の推定値並びに車種判別結果を検出結果出力部 21 に出力する。

【0152】

なお、数式 (27) を満たす車高車速テンプレート相関演算部の出力が複数ある場合には、出力選択部 20A は、複数の相関値 $HV_CI(k, s_{sel}, m)$ のうち最大値を用いて、車両 TK の車高及び車速の推定値を選択しても良い。

【0153】

又は、出力選択部 20A は、数式 (27) を満たす複数の車高車速テンプレート相関演算部の各相関値を用いて補間処理して車両 TK の車高及び車速の推定値を選択しても良い

。これにより、レーダ装置 1 A は、テンプレート数を増加させずに、車両 T K の車高及び車速の推定精度を向上でき、回路規模を低減できる。

【0154】

本実施形態では、各々の車高車速テンプレート相関演算部は、車速 v_q に応じたテンプレート長を用いて相関演算した。また、各々の車高車速テンプレート相関演算部は、各々の車高車速テンプレート相関演算部が用いるテンプレート長が同程度となるように、テンプレート及び加算部 18 の出力を、間引く又はダウンサンプルした後に相関演算しても良い。

【0155】

図 12 は、第 2 の実施形態の変形例における車高車速テンプレート相関演算部 # s の内部構成を示すブロック図である。車高車速テンプレート相関演算部 # s は、車速 v_1 用ダウンサンプル部 411、車速 v_2 用ダウンサンプル部 412、…、車速 v_q 用ダウンサンプル部 41q、及び車速 v_1 用テンプレート相関演算部 421、車速 v_2 用テンプレート相関演算部 422、…、車速 v_q 用テンプレート相関演算部 42q を含む構成である。

【0156】

車高車速テンプレート相関演算部 # s は、離散時刻 k_s に対応する測定レンジビン $R_{k(z)}$ における $s(k_s)$ 個のテンプレート $REP_{\#s(k_s)}[z_u(k), v_q](n_i)$ を用いて、それぞれ次のように動作する。なお、1 個の車高車速テンプレート相関演算部において、各々のダウンサンプル部とテンプレート相関演算部の動作は同様であるため、車速 v_q 用ダウンサンプル部 41q 及び車速 v_q 用テンプレート相関演算部 42q を例示して動作を説明する。

【0157】

車速 v_q 用ダウンサンプル部 41q は、距離選択出力部 35 からの出力 $CI(k, m)$ を、所定の $\Delta m(v_q)$ の間隔において間引き処理又はダウンサンプル処理する。 $\Delta m(v_q)$ は、数式 (17) により示される。 v_{max} は、車両 T K の想定最大速度である。車速 v_q 用ダウンサンプル部 31p は、間引き処理又はダウンサンプル処理後の相関値を、車速 v_q 用テンプレート相関演算部 42q に出力する。

【0158】

車速 v_q 用テンプレート相関演算部 42q は、 $s(k_s)$ 番目のテンプレート $REP_{\#s(k_s)}[z_u, v_q](n_i)$ のサンプル数を表すテンプレート長 $Length(REP_{\#s(k_s)})$ と、離散時刻 k 毎に得られた距離選択出力部 35 の $Length(REP_{\#s(k_s)})$ 個の相関値が $\Delta m(v_q)$ の間隔において間引き処理又はダウンサンプル処理された相関値とを用いて、数式 (28) に従って離散時刻 k_s のタイミングを揃えて相関演算する。車速 v_q 用テンプレート相関演算部 42p は、相関演算の結果としての相関値 $HV_CI(k_s, s(k_s), m)$ を出力選択部 20A に出力する。

【0159】

【数 28】

$$HV_CI(k_s, s(k_s), m) =$$

$$\frac{1}{\text{floor}[\frac{Length(Rep_{\#s(k_s)}[z_u, v_q])}{\Delta m(v_q)}]} \times$$

$$\sum_{n_i=1}^{Length(Rep_{\#s(k_s)}[z_u, v_q])} CI(k_s, m + (n_i - 1)\Delta m(v_q) + 1) REP_{\#s(k_s)}^*[z_u, v_q](m + (n_i - 1)\Delta m(v_q) + 1) \dots (28)$$

【0160】

従って、車両 T K の車速 v_q が低速なほど間引き間隔又はダウンサンプル間隔 $\Delta m(v_q)$ が大きくなる。これにより、レーダ装置 1 A は、各々の車高車速テンプレート相関演算部の演算量及び演算に必要となるバッファ量を低減でき、車両 T K の車高及び車速の推

10

20

30

40

50

定精度の劣化を抑制し、更に、回路規模を低減できる。

【0161】

(第3の実施形態：レーダ装置1B)

第3の実施形態では、第1の実施形態のレーダ装置1のレーダ受信部Rxに路面反射波信号検出部50を更に設ける(図13参照)。第3の実施形態でも数式(20)が成り立ち、車両TKが+Y方向に走行する場合にビーム幅 θ_{BW} に含まれる θ の範囲において最も車両TKが早く検出される θ は、数式(29)により示される。

【0162】

【数29】

$$\theta = -\frac{\theta_{BW}}{2} + \frac{\pi}{2} - \phi \dots (29)$$

10

【0163】

数式(29)に示す θ の方向に対するレーダ装置1Bから路面GNDまでの距離Droadは、数式(30)により示される。従って、レーダ受信部Rxにおける離散時刻 $k_{Droad} (= \text{floor}[Droad/\Delta R] + 1)$ において路面反射波信号の強弱を検出することで、レーダ装置1Bは、車両TKがレーダ装置1Bのビーム幅 θ_{BW} 程度の車両走行レーンのエリア内に進入した時点を検出できる。

【0164】

【数30】

$$Droad = \frac{H}{\cos(-\frac{\theta_{BW}}{2} + \frac{\pi}{2} - \phi) \cos \gamma(z)} \dots (30)$$

20

【0165】

図13は、第3の実施形態のレーダ装置1Bの内部構成を詳細に示すブロック図である。第3の実施形態では、第1の実施形態と異なる内容について説明し、第1の実施形態と同様な内容の説明は省略する。レーダ装置1Bは、基準信号発振器Lo、レーダ送信部Tx及びレーダ受信部Rxを含む構成である。

30

【0166】

レーダ受信部Rxは、受信アンテナRx-antが接続された受信RF部10及び信号処理部11Bを有する構成である。信号処理部11Bは、A/D変換部15、16、相関演算部17、加算部18、車高車速テンプレート生成部19、合計Nrep個の車高車速テンプレート相関演算部#1～#Nrep($p=1 \sim Nrep$)、路面反射波信号検出部50、出力選択部20及び検出結果出力部21を有する構成である。

【0167】

路面反射波信号検出部50は、加算部18の出力CI(k, m)から、路面反射波信号が検出される離散時刻 k_{Droad} における加算部18の出力CI(k_{Droad}, m)の出力レベルを基に、車両TKがレーダ装置1Bのビーム幅 θ_{BW} 程度の車両走行レーンのエリア内に進入した時点を検出する。

40

【0168】

具体的には、路面反射波信号検出部50は、離散時刻 k_{Droad} における加算部18の出力CI(k_{Droad}, m)の出力レベルが所定レベルTLev__road以上である場合には、車両TKがレーダ装置1Bのビーム幅 θ_{BW} 程度の車両走行レーンのエリア内に進入していないと判定する。

【0169】

また、路面反射波信号検出部50は、離散時刻 k_{Droad} における加算部18の出力CI(k_{Droad}, m)の出力レベルが所定レベルTLev__road未満である場合

50

には、車両TKがレーダ装置1Bのビーム幅 θ_{BW} 程度の車両走行レーンのエリア内に進入し始めたと判定する。更に、路面反射波信号検出部50は、進入開始時点の加算部18の出力CI(k, m_{start})の出力タイミングを、開始トリガ信号として各々の車高車速テンプレート相関演算部#pに出力する。つまり、mをスタート位置に固定して m_{start} として算出する。

【0170】

また、路面反射波信号検出部50は、開始トリガ信号を出力した後、離散時刻 k_{road} における加算部18の出力CI(k_{road}, m)の出力レベルが所定レベル TL_{ev_road} を再び超える場合には、車両TKがレーダ装置1Bのビーム幅 θ_{BW} 程度の車両走行レーンのエリア内の進入が終了したと判定する。更に、路面反射波信号検出部50は、進入終了時点の加算部18の出力CI(k, m_{start})の出力タイミングを、終了トリガ信号として各々の車高車速テンプレート相関演算部#pに出力する。

10

【0171】

車高車速テンプレート相関演算部#pは、路面反射波信号検出部50からの開始トリガ信号を基に、p番目のテンプレート $REP_{\#p}[z_u, v_q](n_i)$ のサンプル数を表すテンプレート長 $Length(REP_{\#p})$ と、離散時刻k毎に得られた加算部18のCI(k, m_{start})以降の $Length(REP_{\#p})$ 個の相関値とを用いて、数式(31)に従って離散時刻kのタイミングを揃えて相関演算する。なお、 m_{start} は固定値である。

【0172】

20

【数31】

$HV_CI(k, p) =$

$$\frac{1}{Length(REP_{\#p}[z_u, v_q])} \sum_{n_i=1}^{Length(REP_{\#p}[z_u, v_q])} CI(k, m_{start} + n_i) REP_{\#p}^*[z_u, v_q](n_i) \dots (31)$$

【0173】

出力選択部20は、合計Nrep個の車高車速テンプレート相関演算部#p(pは1以上Nrep以下の自然数)からの各相関値 $HV_CI(k, p)$ のうち、路面反射波信号検出部50からの開始トリガ信号の出力タイミングから、終了トリガ信号の出力タイミングまでに出力された相関値を用いて、次の動作をおこなう。即ち、所定の閾値 TH_Level を超える相関値 $HV_CI(k, p)$ があるか否かを判定する。

30

【0174】

出力選択部20は、所定の閾値 TH_Level を超える相関値 $HV_CI(k, p)$ があると判定した場合に、即ち、数式(13)が成立する場合に、車両TKがレーダ装置1Bのビーム幅 θ_{BW} 以内を通過したとして、車両TKを車両流量のための車両通過数としてカウントする。 p_{sel} は、数式(13)が成立するテンプレートの序数を表す。

【0175】

なお、数式(13)を満たす車高車速テンプレート相関演算部の出力が複数ある場合には、出力選択部20は、複数の相関値 $HV_CI(k, p_{sel})$ のうち最大値を用いて、車両TKの車高及び車速の推定値を選択しても良い。

40

【0176】

又は、出力選択部20は、数式(13)を満たす複数の車高車速テンプレート相関演算部の各相関値を用いて補間処理して車両TKの車高及び車速の推定値を選択しても良い。これにより、レーダ装置1Bは、テンプレート数を増加させずに、車両TKの車高及び車速の推定精度を向上でき、回路規模を低減できる。

【0177】

出力選択部20は、テンプレート $REP_{\#p_{sel}}[z_u, v_q](n_i)$ に対応する車高 z_u 及び車速 v_q を、車両TKの車高及び車速の推定値として選択し、更に、車種判

50

別する。出力選択部 20 は、車種判別として、例えば車高を基にして大型車又は小型車のいずれであるかを判別する。出力選択部 20 は、車高及び車速の推定値並びに車種判別結果を検出結果出力部 21 に出力する。

【0178】

これにより、レーダ装置 1B は、車両走行レーンに車両 TK が走行していない場合に路面反射波信号の有無を基に、テンプレートを用いた相関演算の開始時点を検出でき、路面反射波信号が検出されない期間を、テンプレートを用いた相関演算期間とできる。このため、レーダ装置 1B は、スライディング相関演算を用いずに、車高車速テンプレート相関演算部の回路規模を簡易化できる。スライディング相関演算には、テンプレート長の FIR フィルタ、即ちテンプレートサイズの個数のレジスタと乗算器とが必要となるが、レーダ装置 1B では、テンプレートサイズの逆数の個数のレジスタと乗算器とにより相関演算できる。

10

【0179】

更に、レーダ装置 1B は、テンプレートを用いた相関演算の開始時点を検出できるため、車両 TK が存在しない期間における車高車速テンプレート相関演算部の演算処理を不要とできるため、レーダ受信部 Rx B における消費電力を低減できる。

【0180】

なお、出力選択部 20 は、テンプレート $REP_{\#psel}[z_u, v_q](n_i)$ に対応する車高 z_u 及び車速 v_q を、車両 TK の車高及び車速の推定値として選択する代わりに、以下の手法に車種判別を行っても良い。

20

【0181】

即ち、出力選択部 20 はテンプレート $REP_{\#psel}[z_u, v_q](n_i)$ に対応する車速の推定値である車速 v_q [m/s] と、開始トリガ信号の出力タイミング T_{start} から、終了トリガ信号の出力タイミング T_{end} までの時間間隔 ($T_{end} - T_{start}$) を基に、レーダ装置 1B のビーム幅 θ_{BW} 以内を通過した車両の車長 L_{car} を、数式 (32) を用いて推定し、車長推定値を用いて車種判別する。

【0182】

出力選択部 20 は、車種判別として、例えば車長を基にして大型車又は小型車のいずれであるかを判別する。出力選択部 20 は、車長及び車速の推定値並びに車種判別結果を検出結果出力部 21 に出力する。

30

【0183】

【数 32】

$$L_{car} = (T_{end} - T_{start}) \times v_q \dots (32)$$

【0184】

なお、出力選択部 20 は上述した車長推定に加え、さらに車高推定結果を用いて車種判別を行っても良い。これにより車高推定及び車長推定の 2 つの推定値を用いることで、出力選択部 20 の、車種判別精度を向上ができる。

【0185】

40

(第 4 の実施形態：レーダ装置 1C)

第 4 の実施形態では、第 2 の実施形態のレーダ装置 1A のレーダ受信部 Rx A に路面反射波信号検出部 50C を更に設ける (図 14 参照)。図 14 は、第 4 の実施形態のレーダ装置 1C の内部構成を詳細に示すブロック図である。第 4 の実施形態では、第 2 又は第 3 の実施形態と異なる内容について説明し、第 2 又は第 3 の実施形態と同様な内容の説明は省略する。レーダ装置 1C は、基準信号発振器 Lo、レーダ送信部 Tx 及びレーダ受信部 Rx C を含む構成である。

【0186】

レーダ受信部 Rx C は、受信アンテナ Rx-ant が接続された受信 RF 部 10 及び信号処理部 11C を有する構成である。信号処理部 11C は、A/D 変換部 15、16、相

50

関演算部 17、加算部 18、距離選択出力部 35、車高車速テンプレート生成部 19A、合計 N_{pk} 個の車高車速テンプレート相関演算部 # 1 ~ # N_{pk} ($s = 1 \sim N_{pk}$)、路面反射波信号検出部 50C、出力選択部 20C 及び検出結果出力部 21 を有する構成である。

【0187】

路面反射波信号検出部 50C は、距離選択出力部 35 の出力 $CI(k, m)$ から、路面反射波信号が検出される離散時刻 k_{Droad} における距離選択出力部 35 の出力 $CI(k_{Droad}, m)$ の出力レベルを基に、車両 TK がレーダ装置 1C のビーム幅 θ_{BW} 程度の車両走行レーンのエリア内に進入した時点を検出する。

【0188】

具体的には、路面反射波信号検出部 50C は、離散時刻 k_{Droad} における距離選択出力部 35 の出力 $CI(k_{Droad}, m)$ の出力レベルが所定レベル TL_{ev_road} 以上である場合には、車両 TK がレーダ装置 1B のビーム幅 θ_{BW} 程度の車両走行レーンのエリア内に進入していないと判定する。

【0189】

また、路面反射波信号検出部 50C は、離散時刻 k_{Droad} における距離選択出力部 35 の出力 $CI(k_{Droad}, m)$ の出力レベルが所定レベル TL_{ev_road} 未満である場合には、車両 TK がレーダ装置 1C のビーム幅 θ_{BW} 程度の車両走行レーンのエリア内に進入し始めたと判定する。更に、路面反射波信号検出部 50C は、進入開始時点の距離選択出力部 35 の出力 $CI(k, m_{start})$ の出力タイミングを、開始トリガ信号として各々の車高車速テンプレート相関演算部 # s に出力する。つまり、 m を固定値として CI を算出する。

【0190】

また、路面反射波信号検出部 50C は、開始トリガ信号を出力した後、離散時刻 k_{Droad} における加算部 18 の出力 $CI(k_{Droad}, m)$ の出力レベルが所定レベル TL_{ev_road} を再び超える場合には、車両 TK がレーダ装置 1C のビーム幅 θ_{BW} 程度の車両走行レーンのエリア内の進入が終了したと判定する。更に、路面反射波信号検出部 50C は、進入終了時点の加算部 18 の出力 $CI(k, m_{start})$ の出力タイミングを、終了トリガ信号として各々の車高車速テンプレート相関演算部 # s に出力する。

【0191】

車高車速テンプレート相関演算部 # s は、路面反射波信号検出部 50C からの開始トリガ信号を基に、 s 番目のテンプレート $REP_{\#s}(k_s)[z_u, v_q](n_i)$ のサンプル数を表すテンプレート長 $Length(REP_{\#s}(k_s))$ と、離散時刻 k_s 毎に得られた距離選択出力部 35 の $CI(k_s, m_{start})$ 以降の $Length(REP_{\#s}(k_s))$ 個の相関値とを用いて、数式 (33) に従って離散時刻 k のタイミングを揃えて相関演算する。なお、 m_{start} は固定値である。

【0192】

【数 33】

$$HV_CI(k, p) =$$

$$\frac{1}{Length(REP_{\#s(k_s)}[z_u, v_q])} \sum_{n_i=1}^{Length(REP_{\#s(k_s)}[z_u, v_q])} CI(k_s, m_{start} + n_i) REP_{\#s(k_s)}^*[z_u, v_q](n_i) \dots (33)$$

【0193】

出力選択部 20C は、合計 N_{rep} 個の車高車速テンプレート相関演算部 # 1 ~ # N_{rep} から入力される各相関値 $HV_CI(k, p)$ のうち、路面反射波信号検出部 50C からの開始トリガ信号の出力タイミングから、終了トリガ信号の出力タイミングまでに出力された相関値を用いて、次の動作をおこなう。

【0194】

即ち、所定の閾値 TH_Level を超える相関値 $HV_CI(k, p)$ があるか否かを判定する。出力選択部 20C は、所定の閾値 TH_Level を超える相関値 $HV_CI(k, p)$ があると判定した場合に、即ち、数式 (13) が成立する場合に、車両 TK がレーダ装置 1 のビーム幅 θ_{BW} 以内を通過したとして、車両 TK を車両流量のための車両通過数としてカウントする。 p_{se1} は、数式 (13) が成立するテンプレートの序数を表す。

【0195】

なお、数式 (13) を満たす車高車速テンプレート相関演算部の出力が複数ある場合には、出力選択部 20C は、複数の相関値 $HV_CI(k, p_{se1})$ のうち最大値を用いて、車両 TK の車高及び車速の推定値を選択しても良い。

10

【0196】

又は、出力選択部 20 は、数式 (13) を満たす複数の車高車速テンプレート相関演算部の各相関値を用いて補間処理して車両 TK の車高及び車速の推定値を選択しても良い。これにより、レーダ装置 1 は、テンプレート数を増加させずに、車両 TK の車高及び車速の推定精度を向上でき、回路規模を低減できる。

【0197】

出力選択部 20C は、テンプレート $REP_{\#p_{se1}}[z_u, v_q](n_i)$ に対応する車高 z_u 及び車速 v_q を、車両 TK の車高及び車速の推定値として選択し、更に、車種判別する。出力選択部 20C は、車種判別として、例えば車高を基にして大型車又は小型車のいずれであるかを判別する。出力選択部 20 は、車高及び車速の推定値並びに車種判別結果を検出結果出力部 21 に出力する。

20

【0198】

これにより、レーダ装置 1C は、車両走行レーンに車両 TK が走行していない場合に路面反射波信号の有無を基に、テンプレートを用いた相関演算の開始時点を検出でき、路面反射波信号が検出されない期間を、テンプレートを用いた相関演算期間とできる。

【0199】

このため、レーダ装置 1C は、スライディング相関演算を用いずに、車高車速テンプレート相関演算部の回路規模を簡易化できる。スライディング相関演算には、テンプレート長の FIR フィルタ、即ちテンプレートサイズの個数のレジスタと乗算器とが必要となるが、レーダ装置 1B では、テンプレートサイズの逆数の個数のレジスタと乗算器とにより相関演算できる。

30

【0200】

更に、レーダ装置 1C は、テンプレートを用いた相関演算の開始時点を検出できるため、車両 TK が存在しない期間における車高車速テンプレート相関演算部の演算処理を不要とできるため、レーダ受信部 Rx C における消費電力を低減できる。

【0201】

なお、出力選択部 20C は、テンプレート $REP_{\#p_{se1}}[z_u, v_q](n_i)$ に対応する車高 z_u 及び車速 v_q を、車両 TK の車高及び車速の推定値として選択する代わりに、以下の手法を用いて車種判別しても良い。

【0202】

出力選択部 20C はテンプレート $REP_{\#p_{se1}}[z_u, v_q](n_i)$ に対応する車速の推定値である車速 $v_q [m/s]$ と、開始トリガ信号の出力タイミング T_{start} から、終了トリガ信号の出力タイミング T_{end} までの時間間隔 ($T_{end} - T_{start}$) を基に、レーダ装置 1C のビーム幅 θ_{BW} 以内を通過した車両の車長 L_{car} を、数式 (32) を用いて推定し、車長推定値を用いて車種判別する。

40

【0203】

出力選択部 20C は、車種判別として、例えば車長を基にして大型車又は小型車のいずれであるかを判別する。出力選択部 20 は、車長及び車速の推定値並びに車種判別結果を検出結果出力部 21 に出力する。

【0204】

50

なお、出力選択部20Cは上述した車長推定に加え、さらに車高推定結果を用いて車種判別を行っても良い。これにより車高推定及び車長推定の2つの推定値を用いることで、出力選択部20Cの、車種判別精度を向上できる。

【0205】

(第5の実施形態：レーダ装置1D)

上述した各実施形態では、レーダ装置の検出対象となる車両の車両走行レーンは1つであった。第5の実施形態では、レーダ装置1Dの検出対象となる車両の車両走行レーンは複数(例えば2つ)である。レーダ装置1Dは、上述した各実施形態の車高車速テンプレート生成部と車高車速テンプレート相関演算部の組とを、検出対象となる車両の車両走行レーン毎に設けることで、複数の車両走行レーンに対して車両を検出できる。

10

【0206】

図15(a)は第5の実施形態のレーダ装置1DのXZ平面上における複数の車両走行レーンに対する配置状況を示す模式図であって、図15(b)は第5の実施形態のレーダ装置の信号処理部11Dの内部構成を詳細に示すブロック図である。図15(a)において、原点、各軸(X軸、Y軸、Z軸)は図1(a)と同様のため、説明を省略する。

【0207】

図15(a)において、第1車両走行レーン X_{L1} は第2車両走行レーン X_{L2} より原点O側であり、車両TK1(車高 z_1)は第1車両走行レーン X_{L1} を走行し、車両TK2(車高 z_2)は第2車両走行レーン X_{L2} を走行する。また、レーダ装置1Dから車両TK1への見込み角は $\gamma(z_1)$ であり、レーダ装置1Dから車両TK2への見込み角は $\gamma(z_2)$ である。

20

【0208】

図15(b)に示す信号処理部11Dは、A/D変換部15、16、相関演算部17、加算部18、距離選択出力部35、第1車両走行レーン用車高車速テンプレート生成部61、第2車両走行レーン用車高車速テンプレート生成部62、第1車両走行レーン用相関演算部G1、第2車両走行レーン用相関演算部G2、及び検出結果出力部21を有する。

【0209】

第1車両走行レーン用相関演算部G1は、s個の車高車速テンプレート相関演算部#1～#NPk、第1車両走行レーン用路面反射波信号検出部51、及び出力選択部20Aを含む。第2車両走行レーン用相関演算部G2は、第1車両走行レーン用相関演算部G1と同様な構成を有し、以下の説明では、第1車両走行レーン用相関演算部G1を例示して、第1車両走行レーン X_{L1} を走行する車両TK1を検出する動作について説明する。

30

【0210】

第1車両走行レーン用車高車速テンプレート生成部61及び第2車両走行レーン用車高車速テンプレート生成部62の動作は同様であるため、第1車両走行レーン用車高車速テンプレート生成部61を例示して動作を説明する。第1車両走行レーン用車高車速テンプレート生成部61は、第1車両走行レーン X_{L1} を走行する車両(例えば車両TK1)におけるテンプレートを、数式(25)に従って生成する。

【0211】

第1車両走行レーン用相関演算部G1は、第1車両走行レーン用車高車速テンプレート生成部61からのテンプレートを用いて、距離選択出力部35からの出力CI(k_s, m)との相関演算を処理する。第1車両走行レーン用相関演算部G1の各部の動作は、第4の実施形態(図14参照)の車高車速テンプレート相関演算部#s、路面反射波信号検出部50C及び出力選択部20Cと同様であるため、説明を省略する。

40

【0212】

検出結果出力部21は、第1車両走行レーン用相関演算部G1及び第2車両走行レーン用相関演算部G2の各演算結果をまとめて、道路交通量を監視する交通システム(不図示)に、所定のインターフェースのネットワークを介して送信する。

【0213】

以上により、レーダ装置1Dは、複数の車両走行レーンを走行する各車両に対し、上述

50

した各実施形態のレーダ装置と同様に、各車両の形状によって車両からの反射波信号の受信レベルが小さい場合でも、各車両の車速及び車高または車長の推定精度を改善でき、車種判別できる。

【0214】

(第6の実施形態：レーダ装置1E)

以上、上述した各実施形態では、レーダ装置を、路面GNDから所定の高さHの位置に設置した場合を前提として説明したが、移動体（例えば車両）にレーダ装置が搭載された場合でも、本開示に係るレーダ装置は、ターゲットとレーダ装置との間の距離関係と、ターゲットとレーダ装置が設置された移動体との相対的な速度関係とに応じた反射波信号の位相変化のテンプレートと、送信信号とターゲットにより反射された送信信号（受信信号）との相関演算により、静止しているターゲットの距離及び方位角を推定できる。

10

【0215】

以下、第6の実施形態として、本開示に係るレーダ装置が車両に設置された場合の実施形態を説明する。

【0216】

図16は、第6の実施形態のレーダ装置1Eが搭載された車両TKの配置状況を示す模式図である。レーダ装置1Eの車両TKへの搭載位置は、例えばレーダ装置1Eのアンテナ指向性が車両側面、車両前部あるいは車両後部の側面方向、斜め前方あるいは斜め後方のいずれかである。なお、図16では、本実施形態のレーダ装置1Eは、車両側面に搭載されている。

20

【0217】

図17は、第6の実施形態のレーダ装置1Eの内部構成を簡略に示すブロック図である。図18は、第6の実施形態のレーダ装置1Eの内部構成を詳細に示すブロック図である。本実施形態のレーダ装置1Eにおけるレーダ送信信号の送信区間Twと送信周期Trは、図4に示すレーダ装置1のレーダ送信信号の送信区間Twと送信周期Trと同様である。

【0218】

図16は、レーダ装置1Eが搭載された車両TKの上面図を示す。ここで、レーダ装置1Eの送信アンテナ及び受信アンテナの各主ビーム方向をY軸方向とし、レーダ装置1Eの送信アンテナの主ビーム方向に垂直な方向をX軸とする。また、レーダ装置1Eの送信アンテナ及び受信アンテナの各開口面の中心をX軸及びY軸が交差する原点とする。

30

【0219】

図16では、点Qは原点 $(X, Y) = (0, 0)$ である。なお、図16では、車両側面にレーダ装置1Eが搭載され、車両TKの進行方向とX軸は一致しているが、車両TKの進行方向とX軸は一致していなくても良い。

【0220】

ここで、検出対象となるターゲットは静止しており、レーダ装置1Eが搭載された車両TKの速度ベクトルを V_s とし、X軸となす角を Ψ とすると、車両TKの速度ベクトルのX軸成分は $V_s \cos \Psi$ 、Y軸成分は $V_s \sin \Psi$ となる。 Ψ は、レーダ装置1Eが車両TKに搭載された取り付け角度に依存するパラメータであり、既知の固定値である。

40

【0221】

レーダ装置1Eの主ビーム方向は、車両側面に対し傾き角 ϕ の方向とする。図16では、レーダ装置1Eの傾き角 $\phi = 90^\circ$ としているが、レーダ装置1Eの主ビーム方向はレーダ装置1Eの傾き角 $\phi = 90^\circ$ に限定されない。

【0222】

レーダ装置1Eは、レーダ送信部Txにより生成されたレーダ送信信号を送信アンテナTx-antから送信し、レーダ送信信号がターゲットにより反射された反射波信号を受信アンテナRx-Antにおいて受信する。

【0223】

レーダ装置1Eは、受信された反射波信号を信号処理することで、レーダ装置1Eから

50

ターゲットの車両反射部 P (R, θ) までの距離 R 及びレーダ装置 1 E からみた静止しているターゲットの方位角 θ を推定する。ここで、R はレーダ装置 1 E からターゲットの車両反射部 P までの距離、 θ は Y 軸を基準としたターゲットの車両反射部 P までの角度を表す。

【0224】

次に、レーダ装置 1 E の各部の構成について以下、概略を説明する。

【0225】

図 17 に示すレーダ装置 1 は、基準信号発振器 L o、レーダ装置速度検出部 40、レーダ送信部 T x 及びレーダ受信部 R x E を含む。レーダ送信部 T x は、送信信号生成部 2、及び、送信アンテナ T x - a n t が接続された送信 R F 部 3 を有する。基準信号発振器 L o は、レーダ送信部 T x 及びレーダ受信部 R x E に接続され、基準信号発振器 L o からの信号をレーダ送信部 T x 及びレーダ受信部 R x E に共通に供給することで、レーダ送信部 T x 及びレーダ受信部 R x E の処理が同期する。

10

【0226】

レーダ受信部 R x E は、受信アンテナ R x - a n t が接続された受信 R F 部 10、及び信号処理部 11 E を有する。信号処理部 11 E は、相関演算部 17、距離／方位テンプレート生成部 19 E、合計 N r e p 個の距離／速度テンプレート相関演算部 # 1 ~ # N r e p ($p = 1 \sim N r e p$) 及び出力選択部 20 を少なくとも有する。

【0227】

(レーダ送信部)

20

レーダ送信部 T x の構成及び動作は、上述した各実施形態と同様であるので、説明を省略する。

【0228】

(レーダ受信部)

次に、レーダ受信部 R x の各部の構成を、図 18 を参照して説明する。

【0229】

図 18 に示すレーダ受信部 R x は、受信アンテナ R x - a n t が接続された受信 R F 部 10、及び信号処理部 11 E を有する。受信 R F 部 10 は、増幅器 12、周波数変換部 13 及び直交検波部 14 を有する。信号処理部 11 E は、A / D 変換部 15, 16、相関演算部 17、加算部 18、距離／方位テンプレート生成部 19 E、N r e p 個の距離／速度テンプレート相関演算部 # p (p は 1 から N r e p までを示し、N r e p は所定の自然数)、出力選択部 20 及び検出結果出力部 21 を有する。

30

【0230】

レーダ装置速度検出部 40 は、レーダ装置 1 E が搭載された移動体の移動速度及び移動方向を検出して距離／方位テンプレート生成部 19 E に出力する。例えば移動体が車両 T K の場合、レーダ装置速度検出部 40 は、車輪の単位時間当たりの回転数を検出することで、移動速度を検出する。また、レーダ装置速度検出部 40 は、ハンドルの回転量から車輪の傾き量を換算して移動方向を検出する。レーダ装置速度検出部 40 が検出した移動体の速度ベクトルを V s とする。

【0231】

レーダ受信部 R x E は、送信周期 T r 毎に、信号処理部 11 における信号処理区間として周期的に演算する。

40

【0232】

次に、レーダ受信部 R x E の各部の動作を詳細に説明する。

【0233】

受信 R F 部 10、及び信号処理部 11 E における A / D 変換部 15, 16、相関演算部 17、加算部 18 の動作は、上述した各実施形態と同様であるので、説明を省略する。

【0234】

距離／方位テンプレート生成部 19 E は、以下に示す性質を基に、レーダ装置 1 E とターゲットとの位置関係を示すパラメータを用いて、距離／速度テンプレートを生成する。

50

【0235】

ここで、距離／方位テンプレート生成部19Eが着目する性質について説明する。

【0236】

車両TKが速度 V_s によって移動するに伴い、ターゲットにより反射された反射波信号では、レーダ装置1Eからターゲットの車両反射部P (R, θ) までの距離 R におけるレーダ装置1Eからみたターゲットの相対速度 V_R は、数式(34)に従って検出される。

【0237】

【数34】

$$V_R(\theta) = -V_s \cos \psi \sin \theta - V_s \sin \psi \cos \theta \dots (34)$$

10

【0238】

数式(34)に従い、図16に示すY軸方向を基準としてレーダ装置1Eからターゲットの車両反射部Pまでの方向との方位角 θ により、レーダ装置1Eにより検出される相対速度は変化する。ここで、車両TKの移動速度 V_s のX軸成分 $V_s \cos \psi$ 、Y軸成分 $V_s \sin \psi$ はレーダ装置速度検出部40の検出値であり、未知のパラメータは、図16に示すY軸方向を基準としてレーダ装置1Eからターゲットの車両反射部Pまでの方向との方位角 θ である。

【0239】

20

また、図16に示すY軸方向を基準としてレーダ装置1Eからターゲットの車両反射部Pまでの方向との方位角 θ は、数式(35)に従って、時間変動する。

【0240】

【数35】

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{-V_s \cos \psi \cos \theta - V_s \sin \psi \sin \theta - \theta V_R(\theta)}{R} \dots (35)$$

【0241】

30

距離／方位テンプレート生成部19Eは、上述した性質を基に、ターゲットに対し、複数の距離 R_u 及び方位 θ_q の組合せに応じた反射波信号の位相変化を、テンプレート $REP_{\#p}[R_u, \theta_q]$ として数式(36)に従って生成する。

【0242】

数式(36)において、 $\#p$ は、合計 N_{rep} 個となる距離 R_u 及び方位 θ_q のパラメータセットの組合せの序数を表し、 $\#p$ は $\#1$ から $\#N_{rep}$ までである。それぞれ自然数である u と q と N_{rep} の間には、 $u \times q = N_{rep}$ が成り立つ。また、 n_i は、テンプレート $REP_{\#p}[R_u, \theta_q]$ の位相成分のサンプル数である。なお、方位 θ_q の時間変化は、数式(37)により示される。

【0243】

40

【数36】

$$REP_{\#p}[R_u, \theta_q](n_i) \\ = \exp \left\{ -j \frac{4\pi(nN_c T_r)(V_s \cos \psi \sin(\theta + n_i N_c T_r \frac{d\theta_q}{dt}) + V_s \sin \psi \cos(\theta + n_i N_c T_r \frac{d\theta_q}{dt}))}{\lambda} \right\} \dots (36)$$

【0244】

【数 3 7】

$$\frac{d\theta_q}{dt} = \frac{-V_s \cos\psi \cos\theta_q - V_s \sin\psi \sin\theta_q - \theta_q V_R(\theta_q)}{R_u} \dots (37)$$

【0 2 4 5】

なお、距離／方位テンプレート生成部 1 9 E は、複数の距離 R_u 及び方位 θ_q の組合せに応じた反射波信号の位相変化を所定ビット数（例えば、1 ビット又は 2 ビット）にて量子化したテンプレートを生成しても良い。1 ビットにて量子化するとテンプレートは 2 値を用いて表現でき、2 ビットにて量子化するとテンプレートは 4 値を用いて表現できる。従って、距離／方位テンプレート生成部 1 9 E の記憶容量を削減でき、各々の距離／速度テンプレート相関演算部 # 1 ～ # N r e p の回路規模を低減できる。

10

【0 2 4 6】

出力選択部 2 0 は、合計 N r e p 個の距離／速度テンプレート相関演算部 # p（p は 1 から N r e p までの自然数）からの各相関値 $HV_CI(k, p, m)$ を基に、所定の閾値 TH_Level を超える相関値 $HV_CI(k, p, m)$ があるか否かを判定する。出力選択部 2 0 は、所定の閾値 TH_Level を超える相関値 $HV_CI(k, p, m)$ があると判定した場合に、即ち、数式 (3 8) が成立する場合に、距離／速度テンプレートの距離 R_u 及び方位 θ_q をターゲットの距離及び方位の検出値として検出結果出力部 2 1 に出力する。

20

【0 2 4 7】

【数 3 8】

$$HV_CI(k, p_{sel}, m) > TH_Level \dots (38)$$

【0 2 4 8】

以上により、本実施形態のレーダ装置 1 E は、移動体（例えば車両）にレーダ装置 1 E が搭載された場合に、静止しているターゲットとレーダ装置 1 E との間の距離関係と、ターゲットとレーダ装置 1 E が搭載された移動体との相対的な速度関係とに応じた反射波信号の位相変化のテンプレートと、送信信号とターゲットにより反射された送信信号（受信信号）との相関演算により、ターゲットの距離及び方位角を推定できる。

30

【0 2 4 9】

以上、図面を参照して各種の実施形態について説明したが、本開示はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。

【0 2 5 0】

なお、本出願は、2 0 1 2 年 3 月 1 9 日出願の日本特許出願（特願 2 0 1 2 - 0 6 2 4 9 3）に基づくものであり、その内容は本出願の中に参照として援用される。

40

【産業上の利用可能性】

【0 2 5 1】

本開示は、車両の形状に拘わらず、車両の車種判別精度を改善するレーダ装置として有用である。

【符号の説明】

【0 2 5 2】

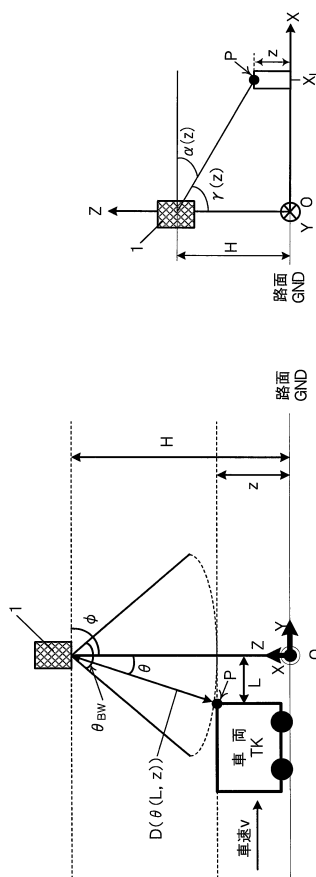
- 1、1 A、1 B、1 C、1 D レーダ装置
- 2 送信信号生成部
- 3 送信 R F 部
- 4 符号生成部

50

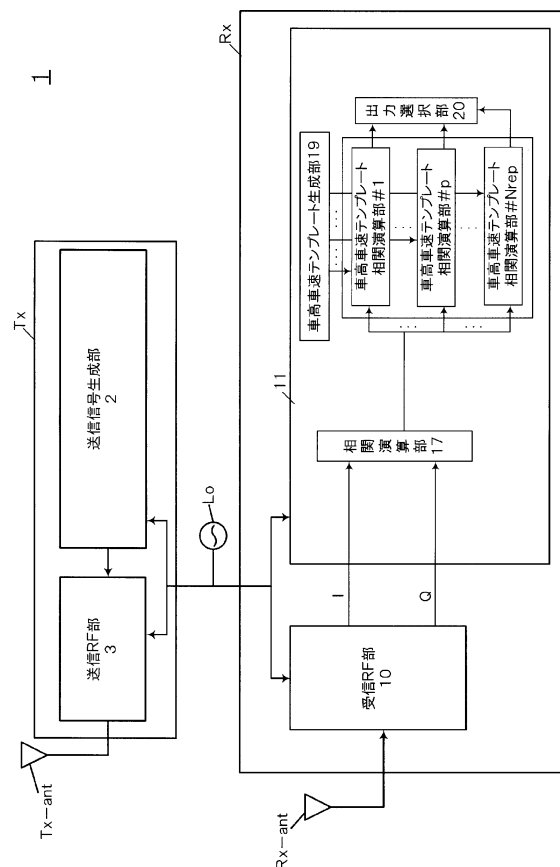
- 5 変調部
 6 L P F
 7 D/A 変調部
 8、13 周波数変換部
 9、12 増幅器
 10 受信 R F 部
 11、11 A、11 B、11 C、11 D 信号処理部
 14 直交変調部
 15、16 A/D 変換部
 17 相関演算部
 18 加算部
 19 車高車速テンプレート生成部
 20、20 A 出力選択部
 21 検出結果出力部
 35 距離選択出力部
 50 路面反射波信号検出部
 #1、#p、#Nrep、#Npk 車高車速テンプレート相関演算部
 Rx、Rx A、Rx B、Rx C レーダ受信部
 Tx レーダ送信部

10

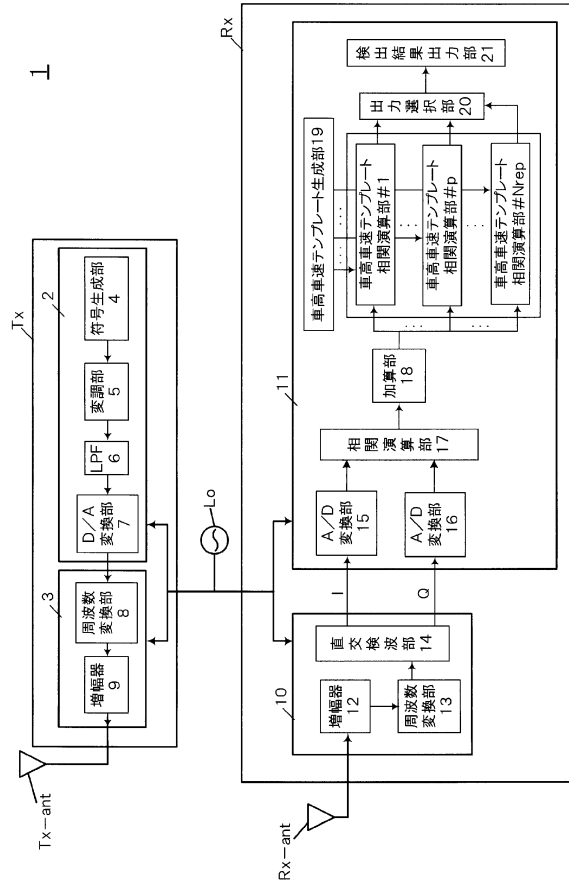
【図 1】



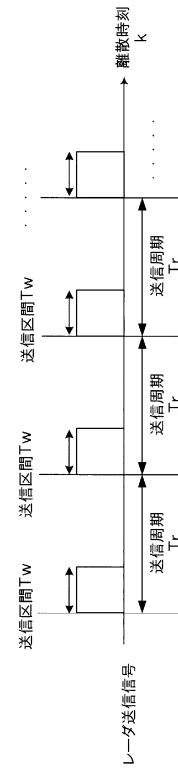
【図 2】



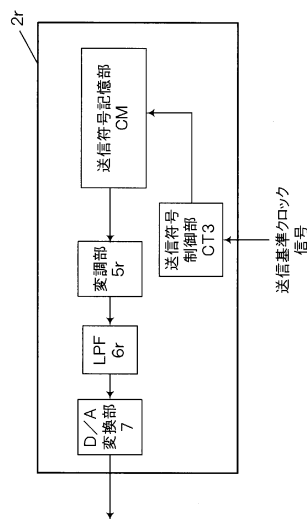
【図 3】



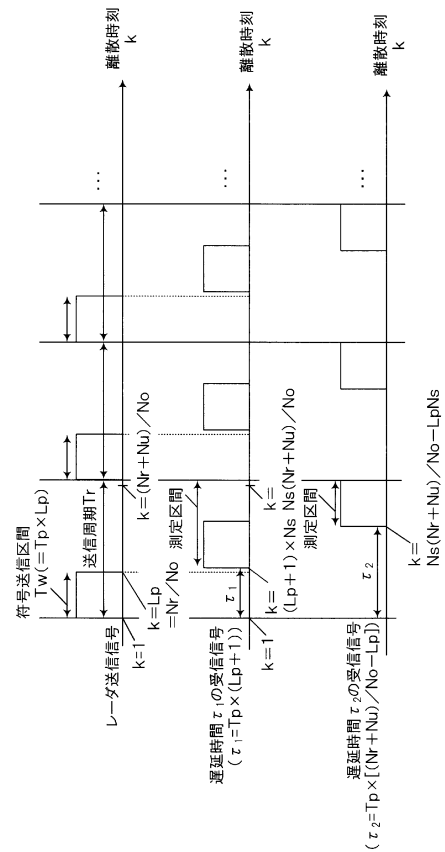
【図 4】



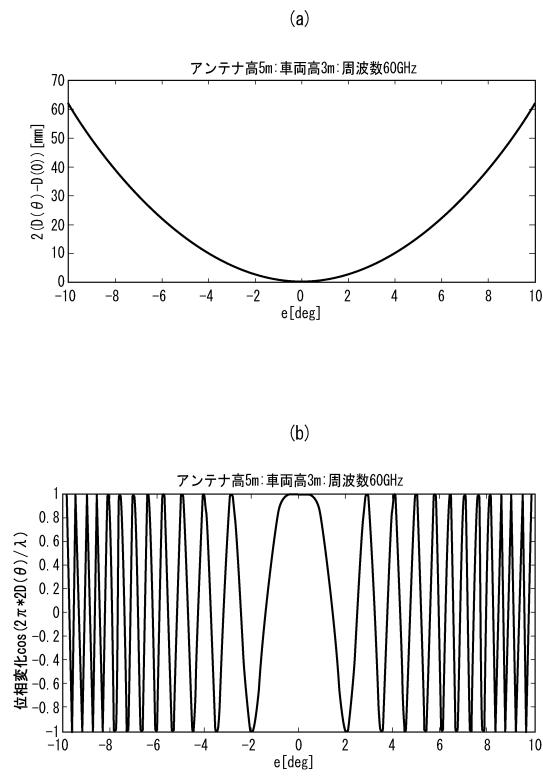
【図 5】



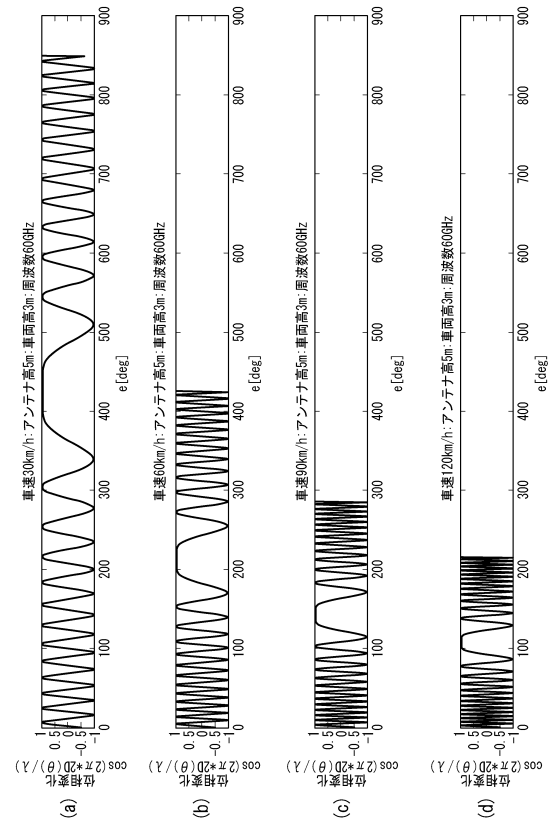
【図 6】



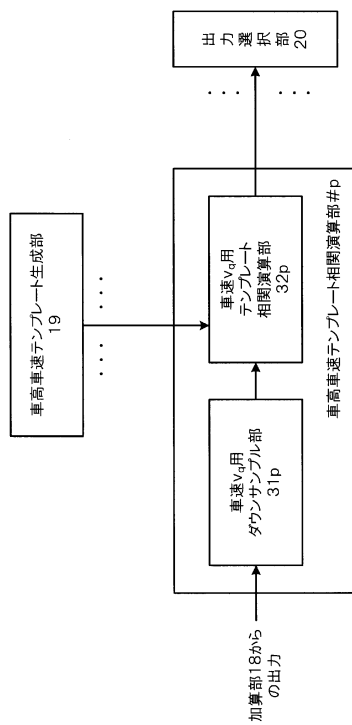
【図 7】



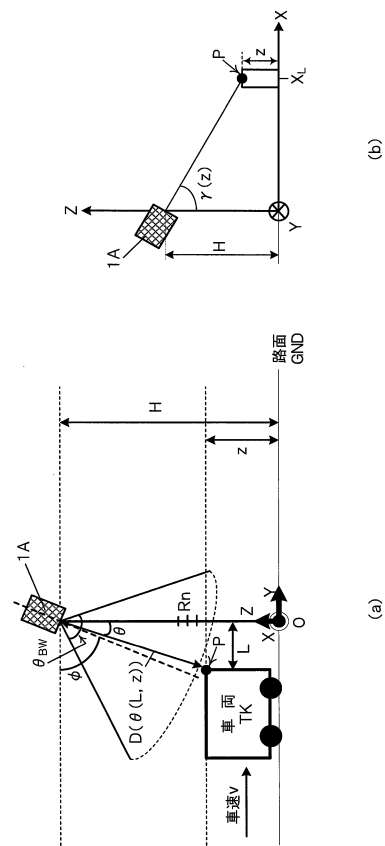
【図 8】



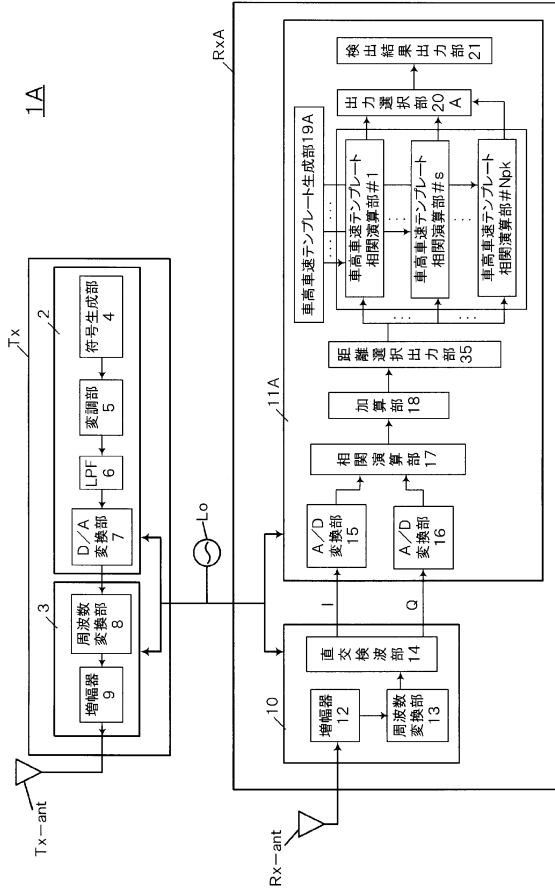
【図 9】



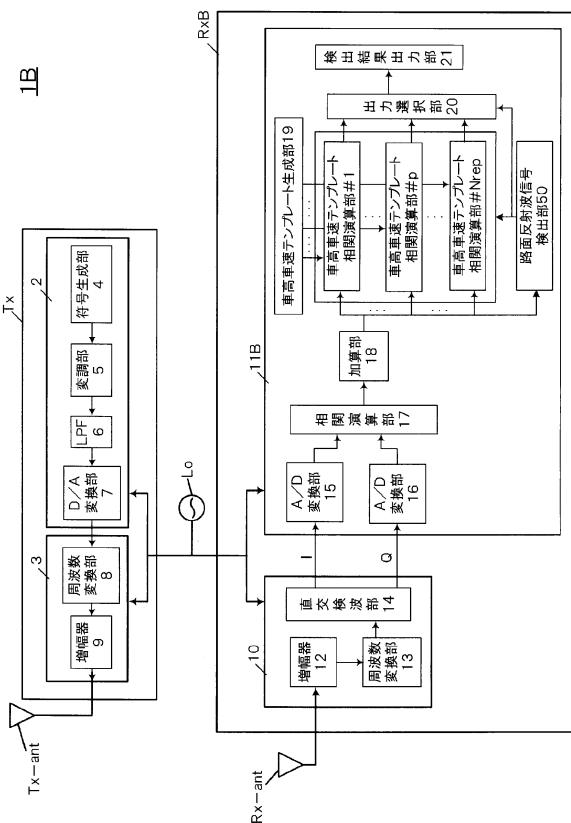
【図 10】



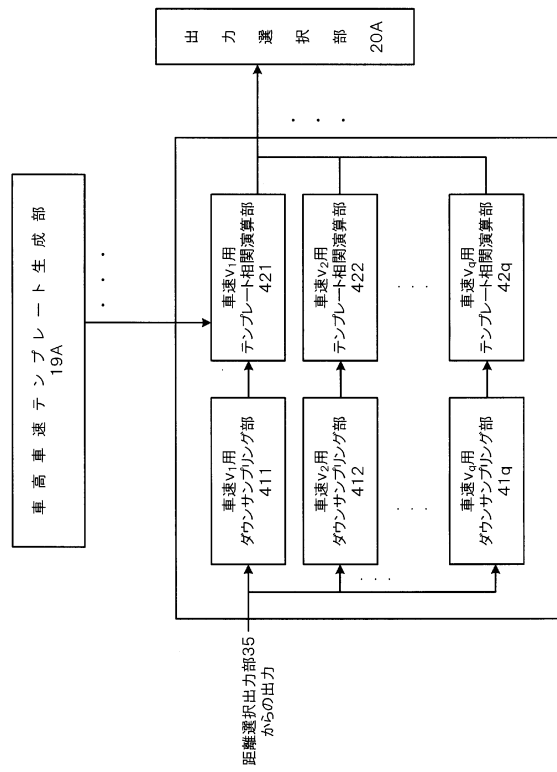
【図 1 1】



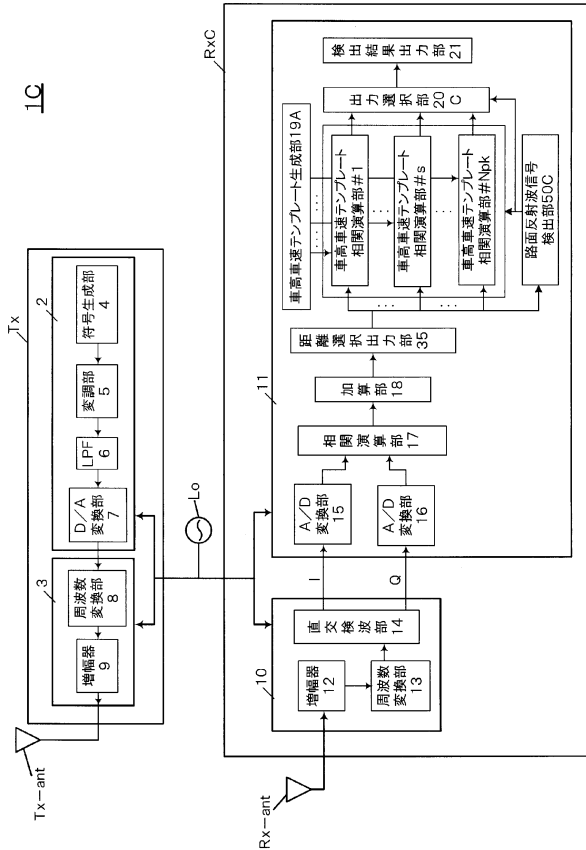
【図 1 3】



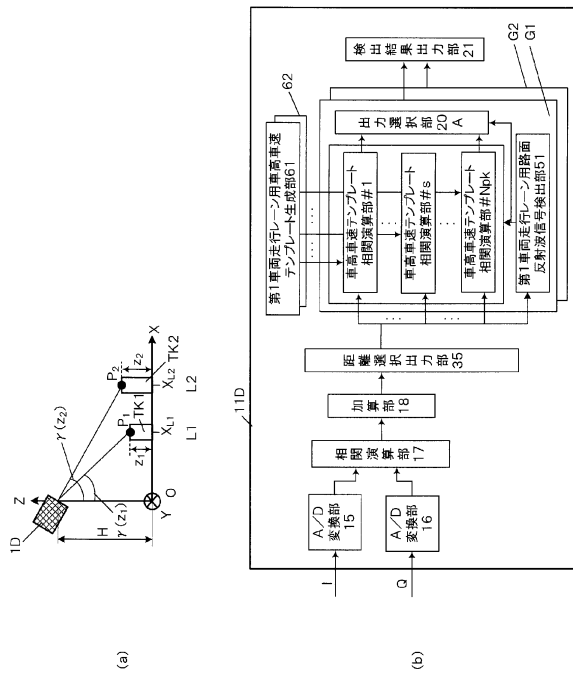
【図 1 2】



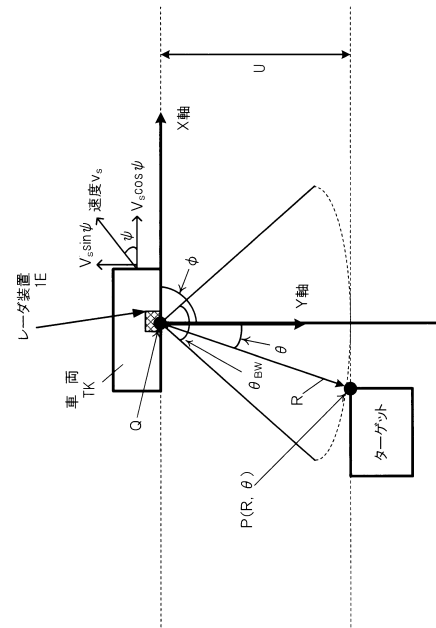
【図 1 4】



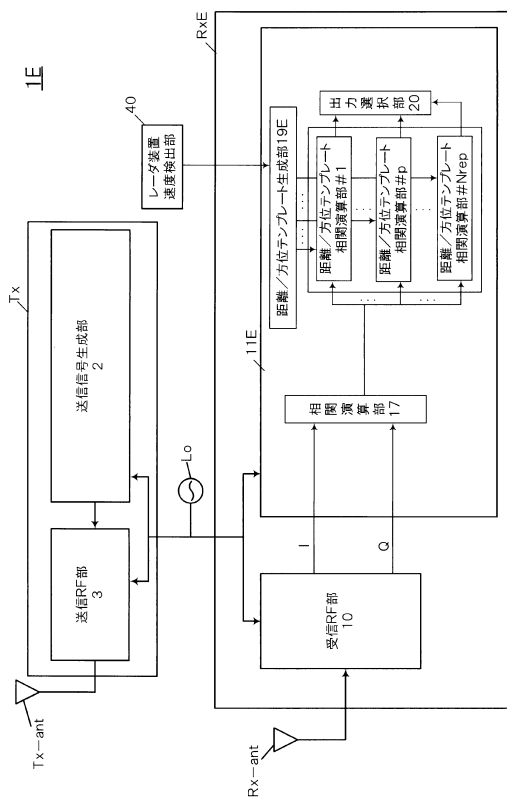
【図 15】



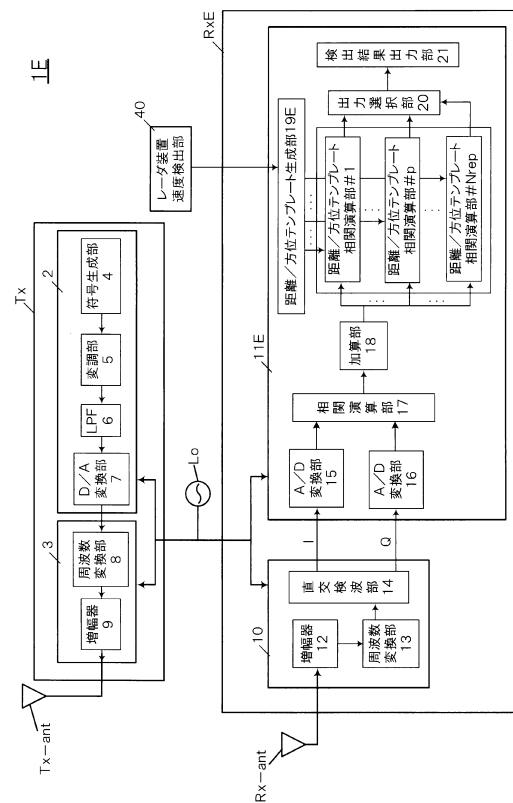
【図 16】



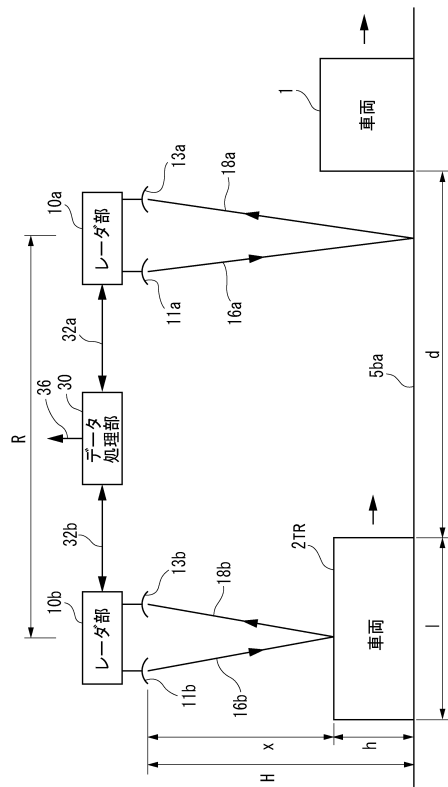
【図 17】



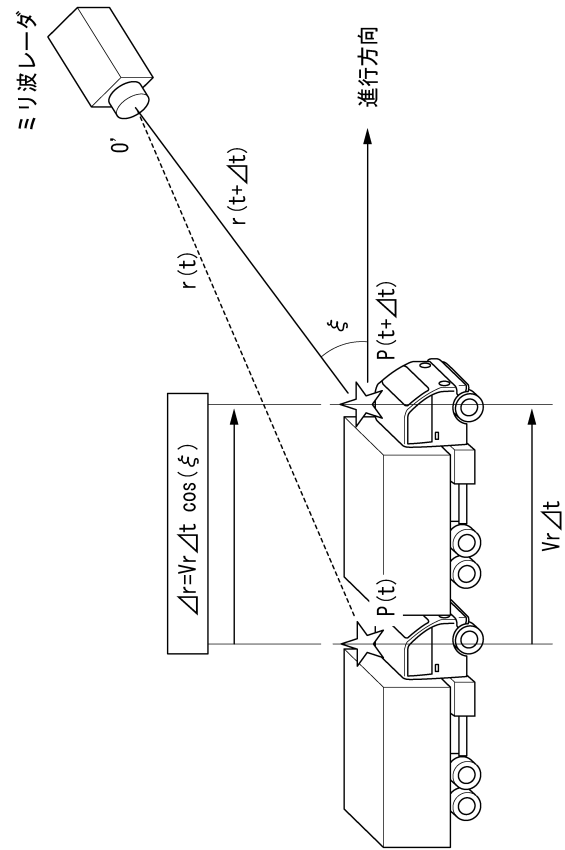
【図 18】



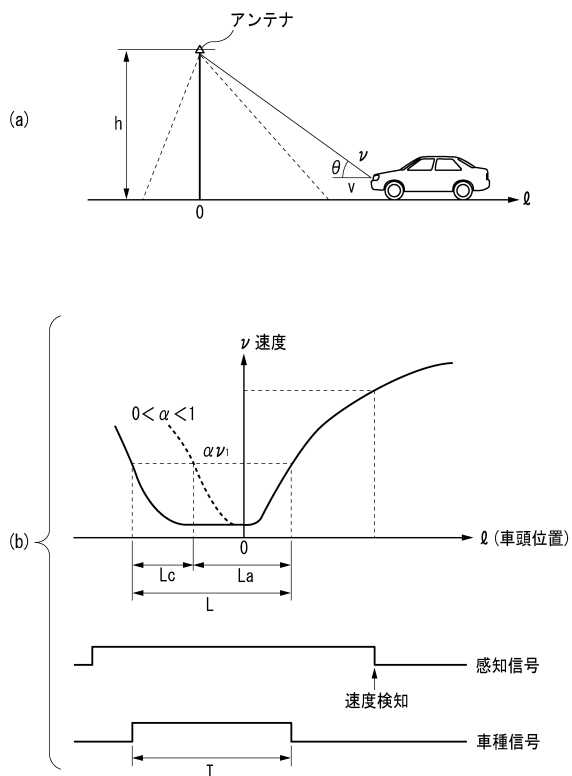
【図 19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

(72)発明者 森田 忠士
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 中村 説志

(56)参考文献 特開2000-056013 (JP, A)
特開平11-272988 (JP, A)
特開昭52-128168 (JP, A)
欧州特許出願公開第0636900 (EP, A2)
米国特許出願公開第2011/0227782 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01S 7/00- 7/42
G01S13/00-13/95
G08G 1/00- 1/16