

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号
特表2025-508629
(P2025-508629A)

(43)公表日 令和7年4月2日(2025.4.2)

(51)国際特許分類
G 0 1 S 13/34 (2006.01)
G 0 1 S 13/87 (2006.01)

F I
G 0 1 S 13/34
G 0 1 S 13/87

テーマコード (参考)
5 J 0 7 0

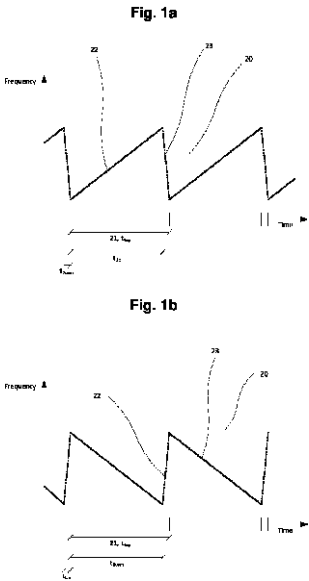
審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全57頁)	
(21)出願番号 特願2024-548350(P2024-548350)	(71)出願人 522287765 トップゴルフ スウェーデン エービー スウェーデン国, 1 8 2 3 3 ダンデリ ユド, スヴァルドヴァーゲン 3エー 1 ティーアール
(86)(22)出願日 令和5年2月15日(2023.2.15)	
(85)翻訳文提出日 令和6年10月10日(2024.10.10)	
(86)国際出願番号 PCT/EP2023/053732	
(87)国際公開番号 WO2023/156442	(74)代理人 100114775 弁理士 高岡 亮一
(87)国際公開日 令和5年8月24日(2023.8.24)	(74)代理人 100121511 弁理士 小田 直
(31)優先権主張番号 2230046-1	(74)代理人 100202751 弁理士 岩堀 明代
(32)優先日 令和4年2月17日(2022.2.17)	(74)代理人 100208580 弁理士 三好 玲奈
(33)優先権主張国・地域又は機関 スウェーデン(SE)	(74)代理人 100227329 弁理士 延原 愛
(81)指定国・地域 AP(BW,CV,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW), EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES, FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV 最終頁に続く	最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ドップラーレーダ共存

(57)【要約】

少なくとも2つの同一場所に配置されたFMCW（周波数変調連続波）ドップラーレーダに対する低減された干渉を提供するための方法であって、前記レーダの各々は、空間を移動する物体の距離および速度を検出するためにシステム内で用いられ、方法は、レーダー対間の予想電磁波伝搬時間が決定される伝搬決定ステップと、レーダの第1のグループ内の各レーダに関して異なるそれぞれの掃引時間オフセットが選択される掃引時間オフセット同期ステップと、第2の掃引周波数オフセットがレーダの第2のグループに関して選択され、第2の掃引周波数オフセットが前第1のグループに属するレーダに用いられた掃引周波数パターンに対するものである掃引周波数オフセット同期ステップとを含み得る。また本発明は、システムおよびコンピュータソフトウェア製品にも関する。

【選択図】 図1 a、図1 b



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

同一場所に配置された、少なくとも 2 つの FMCW（周波数変調連続波）ドップラーレーダ（120）に対する低減された干渉を提供するための方法であって、前記 FMCW ドップラーレーダ（120）の各々は、前記 FMCW ドップラーレーダ（120）の各々に対して空間を移動する物体（10）のそれぞれの距離および速度を検出するためにシステム（100）において使用されるものであり、前記方法は、

前記 FMCW ドップラーレーダ（120）のペア間の予想電磁波伝搬時間を決定すること（S2）と、

前記 FMCW ドップラーレーダ（120）の第 1 のグループ（121）内の各 FMCW ドップラーレーダ（120）に関して異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択すること（S4）と、

前記 FMCW ドップラーレーダ（120）の第 2 のグループ（122）に関して第 2 の非ゼロ掃引周波数オフセットを選択すること（S5）であって、前記第 2 の非ゼロ掃引周波数オフセットは、前記第 1 のグループ（121）に属する FMCW ドップラーレーダ（120）に用いられた掃引周波数パターンに対するものであることと、
を備える、方法。

【請求項 2】

前記システム（100）は、前記 FMCW ドップラーレーダ（120）のいくつかを用いて、前記 FMCW ドップラーレーダ（120）の各々が、前記選択されたそれぞれの掃引時間オフセット、および適用可能な場合は前記選択されたそれぞれの掃引周波数オフセットを用いて繰り返し FMCW 掃引を放出することにより、それぞれの測定 FMCW ドップラーレーダ（120）に対する 1 つまたはいくつかの移動物体（10）のそれぞれの位置および速度を測定すること（S6）

をさらに備える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記 FMCW 掃引は、それぞれの戻りランプ波形を備え、

前記戻りランプ波形はブランクにされる、

請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記予想電磁波伝搬時間を決定すること（S2）、前記異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択すること（S4）、および前記第 2 の非ゼロ掃引周波数オフセットを選択すること（S5）を繰り返すことであって、前記繰り返すことは、定期的に、および／または前記システム（100）に追加の FMCW ドップラーレーダ（120）を追加する場合に行われること

をさらに備える、請求項 1～3 のいずれかに記載の方法。

【請求項 5】

たとえば前記システム（100）の中央制御モジュール（110）からの共通受信地理位置信号または共通受信時間信号などに基づいて、前記 FMCW ドップラーレーダ（120）の各々のそれぞれのクロックを同期させること（S3）であって、前記クロックは、FMCW 掃引をトリガするために前記それぞれの掃引時間オフセットと組み合わせて用いられること

をさらに備える、請求項 1～3 のいずれかに記載の方法。

【請求項 6】

前記予想電磁波伝搬時間を決定すること（S2）は、前記 FMCW ドップラーレーダ（120）の 1 つまたはいくつかは、他の FMCW ドップラーレーダ（120）の 1 つまたはいくつかによって検出および時間調整されるそれぞれの電磁試験信号を放出することを備える、

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記予想電磁波伝搬時間を決定すること（S2）は、各FMCWドップラーレーダ（120）が、前記電磁試験信号を受信し、任意のマルチパス波軌道を考慮に入れて、前記電磁試験信号の最大検出伝搬時間を決定することを備え、前記受信電磁試験信号は、受信時に少なくとも所定の最小電力を有する、
請求項6に記載の方法。

【請求項8】

前記電磁試験信号はFMCW波である、
請求項7に記載の方法。

【請求項9】

前記電磁試験信号は、前記他のFMCWドップラーレーダ（120）の各々によってそれぞれの電磁試験信号に用いられた搬送波周波数に対してオフセットされた搬送波周波数を有する各放出FMCWドップラーレーダ（120）から放出される、
請求項6～8のいずれか1項に記載の方法。

10

【請求項10】

前記予想電磁波伝搬時間を決定すること（S2）は、前記電磁試験信号を受信する各FMCWドップラーレーダ（120）において、前記受信電磁試験信号の最大電力を測定することを備える、
請求項6～8のいずれか1項に記載の方法。

【請求項11】

前記FMCWドップラーレーダ（120）の各々によって用いられるそれぞれの掃引波形は、前記FMCWドップラーレーダ（120）によって用いられるそれぞれの掃引時間オフセットおよび掃引周波数オフセットを除き、前記FMCWドップラーレーダ（120）にわたって同一である、
請求項1～3および請求項6～8のいずれか1項に記載の方法。

20

【請求項12】

前記異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択すること（S4）は、
第1のランク付けにおいて、FMCWドップラーレーダ（120）の第1のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダ（120）をランク付けすることであって、前記第1のランク付けは、前記第1のランク付けグループの他のFMCWドップラーレーダ（120）に対する干渉重大度に従って行われ、さらに前記予想電磁波伝搬時間に基づくことと、

30

前記第1のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダ（120）の各々について、前記FMCWドップラーレーダ（120）のうちの最も大きな重大度で干渉するものから前記FMCWドップラーレーダ（120）のうちの小さな重大度で干渉するものへの順に、それぞれの第1の掃引時間オフセットが既に選択されている、前記第1のランク付けグループ内の他のFMCWドップラーレーダ（120）に対して決定された、前記FMCWドップラーレーダ（120）の最小相対掃引時間オフセットおよび伝搬時間遅延の両方を考慮に入れて、前記FMCWドップラーレーダ（120）のそれぞれの第1の掃引時間オフセットを選択することと、
を備える、請求項1～3および請求項6～8のいずれか1項に記載の方法。

40

【請求項13】

前記異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択すること（S4）は、
物体（10）追跡動作中に所定の最小干渉レベルを生じさせないそれぞれの掃引時間オフセットを選択することが不可能であると決定された、前記第1のランク付けグループ内の1つまたはいくつかのFMCWドップラーレーダ（120）の第2のランク付けグループを識別することと、

第2のランク付けにおいて、前記FMCWドップラーレーダ（120）の第2のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダ（120）をランク付けすることであって、前記第2のランク付けは、前記第2のランク付けグループの他のFMCWドップラーレーダ（120）に対する干渉重大度に従って行われ、さらに前記予想電磁波伝搬時間に基づ

50

くことと、

前記第2のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダ(120)の各々について、前記FMCWドップラーレーダ(120)のうちの最も大きな重大度で干渉するものから前記FMCWドップラーレーダ(120)のうちの小さな重大度で干渉するものへの順に、それぞれの第2の掃引時間オフセットが既に選択されている、前記第2のランク付けグループ内の他のFMCWドップラーレーダ(120)に対して決定された、前記FMCWドップラーレーダ(120)の最小相対掃引時間オフセットおよび伝搬時間遅延の両方を考慮に入れて、前記FMCWドップラーレーダ(120)のそれぞれの第2の掃引時間オフセットを選択することと、

前記第1のランク付けグループに属するが前記第2のランク付けグループに属さない前記FMCWドップラーレーダ(120)を、前記FMCWドップラーレーダ(120)の第1のグループ(121)として選択することと、

前記第2のランク付けグループに属する1つまたはいくつかのFMCWドップラーレーダ(120)を、前記FMCWドップラーレーダ(120)の第2のグループ(122)として選択することと、

をさらに備える、請求項12に記載の方法。

【請求項14】

前記異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択すること(S4)は、

前記FMCWドップラーレーダ(120)の別の1つからの干渉を経験している、前記FMCWドップラーレーダ(120)の1つのIF(中間周波数)の少なくとも所定の減衰を生成する最小掃引時間オフセットに基づいて最小相対掃引時間オフセットを決定すること

をさらに備える、請求項12に記載の方法。

【請求項15】

前記掃引周波数オフセットは、前記第1のグループ(121)に属するFMCWドップラーレーダ(120)と前記第2のグループ(122)に属するFMCWドップラーレーダ(120)との間の干渉により、所定の速度範囲外の物体(10)速度の誤解が生じるように選択され、そのような誤解は、たとえば前記干渉による物体誤検出に対応する、請求項1～3および請求項6～8のいずれか1項に記載の方法。

【請求項16】

前記掃引周波数オフセットは、前記FMCWドップラーレーダ(120)によって用いられる掃引繰り返し周波数の0.3および0.7倍の間として選択される、請求項15に記載の方法。

【請求項17】

少なくとも2つの同一場所に配置されたFMCW(周波数変調連続波)ドップラーレーダ(120)の少なくとも1つに対して空間を移動する物体(10)のそれぞれの距離および速度を検出するためのシステム(100)であって、前記システム(100)は、

前記FMCWドップラーレーダ(120)と、

1つ以上のハードウェアプロセッサであって、前記ハードウェアプロセッサは、

前記FMCWドップラーレーダ(120)のペア間の予想電磁波伝搬時間を決定(S2)し、

前記FMCWドップラーレーダ(120)の第1のグループ(121)内の各FMCWドップラーレーダ(120)に関して異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択(S4)し、

前記FMCWドップラーレーダ(120)の第2のグループ(122)に関して第2の非ゼロ掃引周波数オフセットを選択(S5)し、前記第2の非ゼロ掃引周波数オフセットは、前記第1のグループ(121)に属するFMCWドップラーレーダ(120)に用いられた掃引周波数パターンに対するものである

ように構成された1つ以上のハードウェアプロセッサと、

を備える、システム(100)。

10

20

30

40

50

【請求項 18】

前記 1 つ以上のハードウェアプロセッサのうちの 1 つ以上は、前記 FMCW ドップラーレーダ (120) のうちの 1 つ以上内に位置する、
請求項 17 に記載のシステム (100)。

【請求項 19】

前記システム (100) は、中央制御モジュール (110) を備え、
前記 1 つ以上のハードウェアプロセッサのうちの 1 つ以上は、前記中央制御モジュール (110) 内に位置する、
請求項 17 または 18 に記載のシステム (100)。

【請求項 20】

中央制御モジュールおよび／または分散型 FMCW ドップラーレーダ (120) デバイスのセットのコンピュータハードウェアで実行すると、少なくとも 2 つの同一場所に配置された FMCW (周波数変調連続波) ドップラーレーダ (120) の少なくとも 1 つに対して空間を移動する物体 (10) のそれぞれの距離および速度を検出するように構成されたコンピュータソフトウェア製品であって、前記コンピュータソフトウェア製品は、

前記 FMCW ドップラーレーダ (120) のペア間の予想電磁波伝搬時間を決定すること (S2) と、

前記 FMCW ドップラーレーダ (120) の第 1 のグループ (121) 内の各 FMCW ドップラーレーダ (120) に関して異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択すること (S4) と、

前記 FMCW ドップラーレーダ (120) の第 2 のグループ (122) に関して第 2 の非ゼロ掃引周波数オフセットを選択すること (S5) であって、前記第 2 の非ゼロ掃引周波数オフセットは、前記第 1 のグループ (121) に属する FMCW ドップラーレーダ (120) に用いられた掃引周波数パターンに対するものであることと、

によって、前記 FMCW ドップラーレーダ (120) の各々に対する低減された干渉を提供するように構成された制御機能を備える、コンピュータソフトウェア製品。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

本発明は、いくつかの同一場所に配置されたドップラーレーダに対する低減された干渉を提供するための方法に関する。特に、当該ドップラーレーダは、たとえばゴルフボールのようなスポーツ用投射物などの移動物体の軌道を自動的に追跡するために提供される FMCW (周波数変調連続波) レーダであってよい。また本発明は、そのような方法を行うためのシステム、およびそのような方法を行うように構成されたコンピュータソフトウェア製品にも関する。

【0002】

FMCW ドップラーレーダを用いて、当該レーダに対して空間を移動するそのような物体を自動的に追跡することが知られている。FMCW ドップラーレーダを用いると、当該移動物体との距離 (場合によっては当技術分野において「レンジ」とも記載される)、ならびに当該レーダに対する当該移動物体の (径方向) 速度の両方を測定することが可能である。通常、そのようなレーダは、追跡レーダに対する当該物体の方向を測定することも可能である。

【発明の概要】

【0003】

多くの場合、定められた空間を監視するために、いくつかの FMCW ドップラーレーダがエリア上に分散される。これを実現するために、そのような FMCW ドップラーレーダは、1 つの近接した場所にある必要があり、言い換えると、追跡対象物体に関して結合された空間を監視するために協働する必要がある。これは、たとえば、ゴルフ練習場における場合である。そのような場合、そのような同一場所に配置された FMCW ドップラーレーダ間の干渉の問題が存在する。言い換えると、1 つのそのようなレーダから放出さ

10

20

30

40

50

れる電磁波が、1つまたはいくつかの他の同一場所に配置されたレーダによって、直接または反射を介して受信される。すると、そのような受信信号は、追跡対象物体からの発信であると誤って解釈されるか、あるいは他の干渉をもたらす危険性がある。たとえば、干渉が感度を低下させ得ることにより、関心対象の重要な微弱標的信号を検出することができない場合がある。

【0004】

レーダ機器の干渉問題を解決する既知の方法は、時間および周波数多重化を含む。しかしながら、時間多重化は一般に、測定の粒度および精度を低下させ、利用可能な周波数帯域幅が制限される場合が多い。特に、たとえばゴルフ練習場では、比較的単純な同一レーダデバイスのセットを使用できることが好適である場合が多い。

10

【0005】

海洋波の監視に関するUS6,856,276B2号には、いくつかの共存するレーダを用いるFMCWレーダシステムが記載され、干渉問題は、個々のレーダによって放出されるチャープ（周波数掃引）のための相対的な時間遅延を導入することによって対処される。

【0006】

本発明は、上に記載されている問題のうちの1つ以上、または全てを解決することができる。

【0007】

したがって、本発明は、少なくとも2つの同一場所に配置されたFMCW（周波数変調連続波）ドップラーレーダに対する低減された干渉を提供するための方法に関し、FMCWドップラーレーダの各々は、それぞれのFMCWドップラーレーダに対して空間を移動する物体のそれぞれの距離および速度を検出するためにシステム内で使用されるものであり、この方法は、FMCWドップラーレーダのペア間の予想電磁波伝搬時間を決定することと、FMCWドップラーレーダの第1のグループ内の各FMCWドップラーレーダに関して異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択することと、FMCWドップラーレーダの第2のグループに関して第2の非ゼロ掃引周波数オフセットを選択することとであって、第2の非ゼロ掃引周波数オフセットは、第1のグループに属するFMCWドップラーレーダに用いられた掃引周波数パターンに対するものであることを備える。

20

【0008】

いくつかの実施形態において、方法は、システムが、FMCWドップラーレーダのいくつかを用いて、FMCWドップラーレーダの各々が、選択されたそれぞれの掃引時間オフセット、および適用可能な場合は選択されたそれぞれの掃引周波数オフセットを用いて繰り返しFMCW掃引を放出することにより、それぞれの測定FMCWドップラーレーダに対する1つまたはいくつかの移動物体のそれぞれの位置および速度を測定することをさらに備える。

30

【0009】

いくつかの実施形態において、FMCW掃引は、それぞれの戻りランプ波形を備え、戻りランプ波形はブランキングされる。

【0010】

いくつかの実施形態において、方法は、予想電磁波伝搬時間を決定すること、異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択すること、および第2の非ゼロ掃引周波数オフセットを選択することの繰り返すことをさらに備え、繰り返すことは、定期的に、および／またはシステムに追加のFMCWドップラーレーダを追加する場合に行われる。

40

【0011】

いくつかの実施形態において、方法は、たとえばシステムの中央制御モジュールからの共通受信地理位置信号または共通受信時間信号などに基づいて、FMCWドップラーレーダの各々のそれぞれのクロックを同期させることをさらに備え、クロックは、FMCW掃引をトリガするためにそれぞれの掃引時間オフセットと組み合わせて用いられる。

【0012】

50

いくつかの実施形態において、予想電磁波伝搬時間を決定することは、FMCWドップラーレーダの1つまたはいくつかは、他のFMCWドップラーレーダの1つまたはいくつかによって検出および時間調整されるそれぞれの電磁試験信号を放出することを備える。

【0013】

いくつかの実施形態において、予想電磁波伝搬時間を決定することは、各FMCWドップラーレーダが、電磁試験信号を受信し、任意のマルチパス波軌道を考慮に入れて、電磁試験信号の最大検出伝搬時間を決定することを備え、受信電磁試験信号は、受信時に少なくとも所定の最小電力を有する。

【0014】

いくつかの実施形態において、電磁試験信号はFMCW波である。

10

【0015】

いくつかの実施形態において、電磁試験信号は、他のFMCWドップラーレーダの各々によってそれぞれの電磁試験信号に用いられた搬送波周波数に対してオフセットされた搬送波周波数を有する各放出FMCWドップラーレーダから放出される。

【0016】

いくつかの実施形態において、予想電磁波伝搬時間を決定することは、電磁試験信号を受信する各FMCWドップラーレーダにおいて、受信電磁試験信号の最大電力を測定することを備える。

【0017】

いくつかの実施形態において、FMCWドップラーレーダの各々によって用いられるそれぞれの掃引波形は、FMCWドップラーレーダによって用いられるそれぞれの掃引時間オフセットおよび掃引周波数オフセットを除き、FMCWドップラーレーダにわたって同一である。

20

【0018】

いくつかの実施形態において、異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択することは、第1のランク付けにおいて、FMCWドップラーレーダの第1のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダをランク付けすることであって、第1のランク付けは、第1のランク付けグループの他のFMCWドップラーレーダに対する干渉重大度に従って行われ、予想電磁波伝搬時間に基づくことと、第1のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダの各々について、FMCWドップラーレーダのうちの最も大きな重大度で干渉するものからFMCWドップラーレーダのうちの小さな重大度で干渉するものへの順に、それぞれの第1の掃引時間オフセットが既に選択されている第1のランク付けグループ内の他のFMCWドップラーレーダに対して決定されたFMCWドップラーレーダの最小相対掃引時間オフセットおよび伝搬時間遅延の両方を考慮に入れて、FMCWドップラーレーダのそれぞれの第1の掃引時間オフセットを選択することとを備える。

30

【0019】

いくつかの実施形態において、異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択することは、物体追跡動作中に所定の最小干渉レベルを生じさせないそれぞれの掃引時間オフセットを選択することが不可能であると決定された、第1のランク付けグループ内の1つまたはいくつかのFMCWドップラーレーダの第2のランク付けグループを識別することと、第2のランク付けにおいて、FMCWドップラーレーダの第2のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダをランク付けすることであって、第2のランク付けは、第2のランク付けグループの他のFMCWドップラーレーダに対する干渉重大度に従って行われ、予想電磁波伝搬時間に基づくことと、第2のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダの各々について、FMCWドップラーレーダのうちの最も大きな重大度で干渉するものからFMCWドップラーレーダのうちの小さな重大度で干渉するものへの順に、それぞれの第2の掃引時間オフセットが既に選択されている第2のランク付けグループ内の他のFMCWドップラーレーダに対して決定されたFMCWドップラーレーダの最小相対掃引時間オフセットおよび伝搬時間遅延の両方を考慮に入れて、FMCWドップラーレーダのそれぞれの第2の掃引時間オフセットを選択することと、第1のランク付けグループに

40

50

属するが第2のランク付けグループに属さないFMCWドップラーレーダを、FMCWドップラーレーダの第1のグループとして選択することと、第2のランク付けグループに属する1つまたはいくつかのFMCWドップラーレーダを、FMCWドップラーレーダの第2のグループとして選択することとをさらに備える。

【0020】

いくつかの実施形態において、異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択することは、FMCWドップラーレーダの別の1つからの干渉を経験しているFMCWドップラーレーダの1つのIF（中間周波数）の少なくとも所定の減衰を生成する最小掃引時間オフセットに基づいて最小相対掃引時間オフセットを決定することをさらに備える。

【0021】

いくつかの実施形態において、掃引周波数オフセットは、第1のグループに属するFMCWドップラーレーダと第2のグループに属するFMCWドップラーレーダとの間の干渉により、所定の速度範囲外の物体速度の誤解が生じるように選択され、そのような誤解は、たとえば干渉による物体誤検出に対応する。

【0022】

いくつかの実施形態において、掃引周波数オフセットは、FMCWドップラーレーダによって用いられる掃引繰り返し周波数の0.3および0.7倍の間として選択される。

【0023】

さらに、本発明は、少なくとも2つの同一場所に配置されたFMCW（周波数変調連続波）ドップラーレーダの少なくとも1つに対して空間を移動する物体のそれぞれの距離および速度を検出するためのシステムに関し、このシステムは、FMCWドップラーレーダと、1つ以上のハードウェアプロセッサとを備え、ハードウェアプロセッサは、FMCWドップラーレーダのペア間の予想電磁波伝搬時間を決定し、FMCWドップラーレーダの第1のグループ内の各FMCWドップラーレーダに関して異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択し、FMCWドップラーレーダの第2のグループに関して第2の非ゼロ掃引周波数オフセットを選択し、第2の非ゼロ掃引周波数オフセットは、第1のグループに属するFMCWドップラーレーダに用いられた掃引周波数パターンに対するものであるように構成される。

【0024】

いくつかの実施形態において、1つ以上のハードウェアプロセッサのうちの1つ以上は、FMCWドップラーレーダのうちの1つ以上内に位置する。

【0025】

いくつかの実施形態において、システムは、中央制御モジュールを備え、1つ以上のハードウェアプロセッサのうちの1つ以上は、中央制御モジュール内に位置する。

【0026】

さらに、本発明は、中央制御モジュールおよび／または分散型FMCWドップラーレーダデバイスのセットのコンピュータハードウェアで実行すると、少なくとも2つの同一場所に配置されたFMCW（周波数変調連続波）ドップラーレーダの少なくとも1つに対して空間を移動する物体のそれぞれの距離および速度を検出するように構成されたコンピュータソフトウェア製品に関し、当該コンピュータソフトウェア製品は、FMCWドップラーレーダのペア間の予想電磁波伝搬時間を決定することと、FMCWドップラーレーダの第1のグループ内の各FMCWドップラーレーダに関して異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択することと、FMCWドップラーレーダの第2のグループに関して第2の非ゼロ掃引周波数オフセットを選択することとであって、第2の非ゼロ掃引周波数オフセットは、第1のグループに属するFMCWドップラーレーダに用いられた掃引周波数パターンに対するものであることとによって、FMCWドップラーレーダの各々に対する低減された干渉を提供するように構成された制御機能を備える。

【0027】

コンピュータソフトウェア製品は、システム内のFMCWドップラーレーダの少なくとも1つおよび／またはシステムの中央制御モジュール内に位置する1つ以上のハードウェア

10

20

30

40

50

アプロセッサに、予想電磁波伝搬時間の決定、異なるそれぞれの掃引時間オフセットの選択、および第2の非ゼロ掃引周波数オフセットの選択を行わせる命令を符号化する非一時的コンピュータ可読媒体によって実装され得る。

【0028】

以下、本発明の例示的な実施形態および添付図面を参照して、本発明が詳しく説明される。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1a】周波数掃引つまりチャープを示す簡略チャートである。

【図1b】周波数掃引つまりチャープを示す簡略チャートである。

10

【図1c】周波数掃引つまりチャープを示す簡略チャートである。

【図2】FMCWドップラーレーダの概観図である。

【図3】標的レーダに関するミキシング後の信号を示すチャートである。

【図4】フーリエ変換を介してレンジ圧縮された信号を示すチャートである。

【図5】一致する波形を有する干渉レーダによる犠牲レーダ受信器の出力における応答を示すチャート（上部）、対応するレンジ掃引マトリックス（中部）、および対応するレンジ速度マトリックス（下部）である。

【図6】図5に対応するが、レーダ間の波形が一致しない場合を示す。

【図7】中央制御モジュールと、いくつかのグループに配置された複数のFMCWドップラーレーダとを備える、本発明の1つ以上の実施形態に係るシステムの概観である。

20

【図8】データ処理装置の簡略図である。

【図9】方法を示すフローチャートである。

【図10】2つの異なるレーダに関する周波数掃引を示す簡略チャートである。

【図11】同一場所に配置された複数のFMCWドップラーレーダの上面レイアウト図である。

【図12a】図11に示す複数のFMCWドップラーレーダの第1の識別されたグループに関する、時間に対するIF（中間周波数）のプロットである。

【図12b】図11に示す複数のFMCWドップラーレーダの第2の識別されたグループに関する、時間に対するIF（中間周波数）のプロットである。

【図13a】図12aに示すプロットの拡大詳細図である。

30

【図13b】図12bに示すプロットの拡大詳細図である。

【図14】3つの異なるシナリオに関するレンジ掃引マップ（各上部）とレンジ速度マップ（各下部）とのそれぞれの組み合わせである。

【図15】3つの異なるシナリオに関するレンジ掃引マップ（各上部）とレンジ速度マップ（各下部）とのそれぞれの組み合わせである。

【図16】3つの異なるシナリオに関するレンジ掃引マップ（各上部）とレンジ速度マップ（各下部）とのそれぞれの組み合わせである。

【図17】図15に示すシナリオに関する、時間に対するIFのプロットである。

【図18】それぞれ時間の関数としてソフトランキングおよびハードランキングの形状を示すチャートである。

40

【図19】犠牲レーダおよび干渉レーダのそれぞれの波形を示す。

【図20】方法を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0030】

本発明は、広範には、同じRF（無線周波数）帯域で動作するFMCW（周波数変調連続波）レーダデバイス120のグループ内の干渉緩和に関する。FMCWレーダデバイス120は、中央制御モジュール110によって、またはデバイス固有の挙動を指定し、場合によっては動作および情報の同期に関するデバイス間の相互作用も指定する適切な規則セットを用いる非集中型方式で調整され得る。協調して協働するために、これらの協働レーダデバイス120は、たとえば中央制御モジュール110から導出されるようなグロー

50

バル時間基準および／またはたとえば各レーダデバイス120のGPS（グローバルポジショニングシステム）受信器などの地理位置信号を適切に認識する必要がある。

【0031】

さらに一般には、本発明はドップラーレーダ技術に関し、言い換えると、FMCWレーダデバイス120はドップラーレーダデバイスである。以下、「FMCWドップラーレーダ」という表現が用いられる。

【0032】

FMCWレーダデバイス120は、「リニア」型の、言い換えるとリニアFMCWを用いて動作するFMCWドップラーレーダであってよい。そのようなリニアFMCWの例は、後述する「鋸歯」、「逆鋸歯」、および「三角形」周波数／時間形状を含み、周波数は、時間とともに線形に変動する。ただし、いくつかの実施形態において非線形周波数変動も用いられ得ることが理解される。

【0033】

従来例では、FMCWレーダは、様々な種類の非線形周波数変調も可能である場合でも、線形周波数変調で連続波形を送信する。簡潔性のために、以下の説明において、図1aに示すように変調は「鋸歯」型であることが前提とされる。

【0034】

したがって、図1aにおいて、「鋸歯」（または異なる用語を用いると「上向き鋸歯」）型のFMCW波形20が示される。参照番号21は、（掃引繰り返し間隔 T_{Rep} に対応する）周波数掃引時間を示し、これは、一般に時間にわたって一定であり、全てのFMCWドップラーレーダ120で同じであってよい。参照番号22は、「アップチャープ」部（実際の周波数掃引）を示し、23は、周波数が別の周波数掃引のために開始値に戻される「ダウンチャープ」部を（破線を用いて）示す。

【0035】

本文脈において、そのような「鋸歯」型以外の時間反復FMCW波形も有用であり、「鋸歯」型は、明確性のために提供される例にすぎないことが理解される。好適には、本文脈において有用なFMCW波形において、周波数は時間とともに線形に変動する。図1bおよび図1cは、本文脈において有用な異なるFMCW波形の2つの例を開示する。

【0036】

ただし、いくつかの実施形態において、使用されるFMCW波形は、本明細書で説明され、図1a～1cに示されるように、「上向き鋸歯」、「下向き鋸歯」、または「三角形」のうちの1つまたはいくつかである。

【0037】

したがって、図1bは、「下向き鋸歯」変形例を示し、図1cは、「三角形」変形例を示す。後者では、アップ掃引およびダウン掃引の掃引は公称上同じ持続時間であり、ダウン掃引のチャープレートは、アップ掃引のチャープレートの負数である。留意点として、図1a～1cは、対応する部分に同じ参照番号を共有している。

【0038】

三角波形を用いる場合のレンジおよびドップラー処理は、鋸歯型波形とわずかに異なる（ここでは詳細に説明しない）。ただし、この場合はダウン掃引がアップ掃引と同様に重要であることに留意する（鋸歯型におけるダウン掃引は、レンジ（またはドップラー）決定に寄与しない）。したがって、図1aの例において、波形の1つの「歯」（上りランプ）は「チャープ」または「掃引」と称される場合が多く、上昇部分は特定の持続時間 t_{up} を有する。チャープレート μ は、アップチャープ中の単位時間当たりの周波数の変化として定義される。線形周波数変調を用いるFMCWレーダにおいて、チャープレートは一定（傾斜）である。チャープ間において、レーダは開始周波数に戻る必要があるため、「ダウンチャープ」となる。理想的には、開始周波数に戻る遷移時間はゼロであるが、一般的に不可能である。しかし、鋸歯状波形の場合、下向き遷移時間 t_{down} は通常、 t_{up} と比べてごく一部である。

【0039】

典型的な F M C W ドップラーレーダ 2 0 0 のブロック図が図 2 に示される。

【 0 0 4 0 】

F M C W ドップラーレーダ 2 0 0 は、送信アンテナ 2 0 1、受信アンテナ 2 0 2、および当該波形 2 0 を生成するために用いられる発振器 2 0 3 を備える。したがって、波形信号は、発振器 2 0 3 から（または発振器 2 0 3 に基づいて）送信アンテナ 2 0 1 に提供され、ミクサ 2 0 4 にも提供される。受信アンテナ 2 0 2 は、送信波形信号の（標的エコーによる）遅延バージョンを提供する。受信信号は、低雑音増幅器 2 0 5 によって増幅され、ミクサ 2 0 4 に提供され得る。ミクサ 2 0 4 は、受信信号を参照波形信号と乗算することによって復調し、その結果、標的エコーの時間遅延に比例する周波数を有する一定周波数信号が得られる。この信号は、フィルタモジュール 2 0 6 に提供され、フィルタモジュール 2 0 6 によってローパスフィルタリングされる。フィルタモジュール 2 0 6 は、場合によっては別の増幅器 2 0 7 における増幅の後、混合フィルタリング信号を A / D 変換器 2 0 8 に提供する。A / D 変換器 2 0 8 の下流には、現在の一般的な型の F M C W ドップラーレーダ 2 0 0 に関してそれ自体周知であるように、任意のフィルタリング、デシメーションなどを行うように構成されたデジタルフィルタモジュール 2 0 6 ' がある。

10

【 0 0 4 1 】

その結果得られた信号は、デジタル処理のためにローカル制御ロジック 2 0 9 に提供される。システム 1 0 0 内の関与する全ての F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 の受信器帯域幅は同じであるか、または少なくとも 5 0 % 以下しか異なることが好適である。

【 0 0 4 2 】

F M C W ドップラーレーダ 2 0 0 は、たとえば G P S 信号などの地理位置信号のようなグローバル時間参照信号のための受信アンテナを備えるような時間同期手段 2 1 0 も備える。あるいは、時間同期手段 2 1 0 は、中央制御モジュール 1 1 0（以下を参照）から放送される時間同期信号を受信するように構成され得る。時間同期手段 2 1 0 は、ローカル制御ロジック 2 0 9 の一部を形成してよい。たとえば、ローカル制御ロジック 2 0 9 は、ピア F M C W ドップラーレーダ 2 0 0 のそれぞれのクロックに同期されたクロックを含み得る。

20

【 0 0 4 3 】

F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 にわたるクロック同期は、たとえば少なくとも 1 0 秒に 1 回、または少なくとも 5 秒に 1 回、たとえば毎秒 1 回など、定期的に行われ得る。

30

【 0 0 4 4 】

F M C W ドップラーレーダ 2 0 0 は、F M C W ドップラーレーダ 2 0 0 が対応する型のピア F M C W ドップラーレーダと、および／または上記中央制御モジュール 1 1 0 とデジタル通信することを可能にするように構成された、たとえば無線または有線通信手段などの通信手段 2 1 1 も備える。可能な通信チャネルは、W i F i または他の任意の無線通信規格、および有線通信チャネルを含む。たとえば、それ自体従来のインターネット通信プロトコルは、上記通信のために用いられ得る。

【 0 0 4 5 】

F M C W 波形 2 0 は、送信アンテナ 2 0 1 によって送信され、標的物体 1 0（以下を参照）に反射して、受信アンテナ 2 0 2 に向かって戻る。受信時、（弱い）受信信号は、送信信号のコピーと乗算される。往復遅延により、ミクサ 2 0 4 の出力において、往復遅延に比例し、標的物体 1 0 との距離（レンジ）に比例する周波数を有する一定周波数信号が生成される。ミクサ 2 0 4 の後の信号は、I F（中間周波数）信号として知られており、場合によっては「ビート信号」とも称される。

40

【 0 0 4 6 】

ミクサ 2 0 4 における出力信号は、レンジ（正確には相対遅延）に比例する周波数を有する正弦波であるため、受信信号のフーリエ変換を行うことによってレンジが抽出され得る。たとえば、それ自体従来の高速フーリエアルゴリズムが用いられ得る。さらに、重畳が適用されるので、標的物体 1 0 のグループは、当該レーダ 2 2 0 に対して異なる径方向距離を有する限り、異なる I F 周波数に関連付けられるので、距離に関して分解され得る

50

。

【 0 0 4 7 】

図 3 は、混合およびフィルタリング後の複合ベースバンド信号の実数部を示す。この例における標的物体は、49.8メートルレンジに位置する。

【 0 0 4 8 】

受信信号のフーリエ変換後、図 4 を参照すると、標的レンジにおいて焦点応答が受信される。

【 0 0 4 9 】

次に、標的物体 10 の検出のために本システムにおいて行われるレンジドップラー（すなわち標的物体 10 の距離－速度）処理に関連して、いくつかの理論的態様が説明される。これらの詳細は、IF 周波数とレンジ－速度空間におけるピーク位置との関係を理解するために役立ち得る。

【 0 0 5 0 】

掃引（チャープ）のシーケンスが考慮され、単一チャープに対する受信器応答は「高速時間」と称される。受信データはマトリックスに配置されてよく、たとえば行 1 は掃引 1 に対するサンプリング応答、行 2 は掃引 2 に対するサンプリング応答であってよく、以下同様である。したがって、「高速時間」は（特定の行の）列に沿う。一方、行の次元は「低速時間」と称される場合が多く、これは、たとえば 1 つの列につき、1 つの行から別の行への時間増分が掃引繰り返し間隔 T_{Rep} に等しいためである。

【 0 0 5 1 】

上述したように、高速時間次元に沿って（上記マトリックス内の各行の列に沿って）フーリエ変換を適用することによって、レンジプロファイルが得られる。各受信掃引をフーリエ変換すると、IF 周波数

【数 1】

$$f$$

にピークが生じる。一般に、

【数 2】

$$f$$

は、標的物体 10 のドップラーシフトにも影響を受け、その結果、処理内で補償され得るレンジ推定値のバイアスが生じる。この影響は、差し当たり無視される。

【 0 0 5 2 】

IF 周波数とレンジとのマッピングは、

【数 3】

$$R_m = cf / (2\mu)$$

であり、ここで c は光速、 μ はチャープレートである。レンジ圧縮（高速時間フーリエ変換）後のサンプルは、「レンジピン」と称される。

【 0 0 5 3 】

レーダ処理において、IF 周波数を等価レンジにマッピングする場合の前提として、信号は双方向伝搬を経ており、応答は、（同じ搬送波周波数に関する）標的物体 10 に反射する自身の送信信号によるものである。代わりに、一致する波形（以下を参照）を有する干渉 FMCW レーダデバイスによる応答が考慮される場合、約 50 メートルのレンジにおいて、そのレンジの半分、言い換えると 25 メートルにピークが生じる。

【 0 0 5 4 】

「一致する波形」という用語は、干渉 FMCW レーダデバイスが、犠牲レーダ（干渉さ

10

20

30

40

50

れているレーダ)と同じ時間オフセットおよび同じ搬送波周波数を有する同一の波形を有することを指す。

【0055】

上記マトリックスの行次元にわたりフーリエ変換が適用されると、 T_{Rep} は低速時間におけるサンプリング間隔であるため、周波数

【数4】

$$f_D = \text{mod}\left(f_D, \frac{1}{T_{Rep}}\right) = \text{mod}(f_D, PRF)$$

10

にピークが生じる。モジュロ演算は、低速時間次元におけるサンプリングレートに対して可能な折り返しを考慮するものであり、

【数5】

$$\frac{1}{T_{Rep}}$$

である。ここで、「パルス反復周波数」(PRF)の概念も導入され、これは当技術分野において幅広く用いられる(「掃引」または「チャープ」は「パルス」である)。

【0056】

20

ドップラー周波数と径方向速度

【数6】

$$(v = \dot{R})$$

との間のレーダ信号処理において(動く標的物体10に関して)想定される関係は、 $f_D = -2v/\lambda$ であり、 λ は波長であるため、観測される標的物体10の速度は、ドップラー周波数推定値 f_D から、

【数7】

$$v = -\frac{\lambda}{2}f_D$$

(1)

30

と推定される。

【0057】

さらに、(

【数8】

$$f_D$$

40

に対応する)明確な速度区間として

【数9】

$$v_{PRF} = -\frac{\lambda}{2}PRF$$

を定義すると、速度領域において折り返し速度ピークがどこで終わるかについて、以下の式が得られる。

【数10】

50

$$\tilde{v} = \text{mod}(v, v_{PRF})$$

(2)

【0058】

上記式において、明確なドップラーおよび速度区間は、 $[0, 1/T_{Rep}]$ Hz および $[0, v_{PRF}]$ である。通常、対称的な区間 $[-0.5/T_{Rep}, 0.5/T_{Rep}]$ Hz および $[-0.5 v_{PRF}, 0.5 v_{PRF}]$ m/s が考慮される。

【0059】

本原理の理論的背景を示すために、ここで、FMCW干渉のいくつかの一般的な特性が説明される。一般に、干渉特性は、干渉レーダおよび犠牲レーダの波形パラメータに依存する。

10

【0060】

最初に、干渉レーダおよび犠牲レーダの波形が一致する場合、言い換えると両方のレーダに関して周波数掃引が同じ形状特性を有する場合が分析される。さらに、簡潔性のために、干渉および犠牲レーダが互いに同期する完全なチャープを生成するという理想的な状況を想定する。この場合、図5を参照すると、干渉レーダは、犠牲レーダにおける点目標と同様の応答を生成する。

【0061】

図5の上段は、犠牲レーダから照準方向に99.2mのレンジにある干渉レーダが、犠牲波形と一致する波形を放出したことによる、犠牲レーダ受信器の出力における応答を示す。このレンジの半分である49.6mに強いピーク応答が示され、標的物体速度はゼロである。

20

【0062】

図5の中部は、対応する「レンジー掃引」マトリックスを示す（レンジフーリエ変換が行われるが、速度フーリエ変換は行われない）。図5の下部は、対応する「レンジー速度」マトリックスを示し、干渉レーダに対してゼロ速度および半分のレンジにおける圧縮された点状応答を示す（干渉レーダに対する一方向伝搬）。

【0063】

ここで、一致しない波形を有する場合、言い換えると干渉レーダデバイスの波形パラメータが異なる場合を参照すると、干渉は、波形がどの程度異なるかに依存して様々な程度まで不鮮明化される。図6に示す例は、犠牲レーダが37.6MHzの波形を用い、干渉レーダが9.7MHzの波形を用いる場合に生じる干渉を示す。2つのレーダの公称搬送波周波数は、公称チャープ反復周波数および（アップ）チャープの長さと同様に同じであるため、チャープレートが主に異なるパラメータである。問題のジオメトリ（および他の全ての関連するシステムパラメータ、出力電力、アンテナなど）は、図5に示す例と同じである。しかし、一致しない波形への変更に加えて、クロックドリフト（発振器ドリフト）も干渉レーダに7ppm加えられている（干渉レーダのクロックは、毎秒7マイクロ秒、犠牲レーダより速く動く）。同期していない発振器および独立したドリフトにより、一致しない公称波形パラメータによる不鮮明化に加えて、干渉応答の不鮮明化の程度が変動する。

30

40

【0064】

したがって、図6の上部は、犠牲波形と一致しない波形を有する干渉レーダによる犠牲レーダ受信器の出力における応答を示す。この図6の上部から明らかであるように、犠牲レーダおよび干渉レーダのチャープレートの差に等しい公称チャープレートを有する「ミニチャープ」が生じる。ミニチャープの持続時間は、ミニチャープのチャープレートおよび犠牲レーダの受信器チェーンの帯域幅に依存する。

【0065】

図6の中部は、上の図5の中部に対応する、「レンジー掃引」マトリックスを示す（レンジフーリエ変換が行われるが、速度フーリエ変換が行われない）。図6の下部は、20msのコヒーレント処理時間間隔に基づく（上の図5の下部に対応する）「レンジー速度

50

」マトリックスを示し、干渉 FMCW 信号への応答が不鮮明化していることが明らかであり、主な理由は、一致しない波形である。

【0066】

したがって、図 6 の下部から、不鮮明化した干渉が存在すること、干渉がレンジ次元のリッジに沿って位置することがわかる。発振器の相対的ドリフトにより、リッジの位置はゼロ速度から離れる方向に移動している。公称搬送波周波数は同じであるが、ドリフトにより、有効搬送波周波数の差が生じ、その大きさが、速度次元におけるリッジの位置を決定する（ドリフトは、20ms のコヒーレント処理間隔中、一定としてモデル化される）。

【0067】

上述したように、本解決策は、時間および／または周波数多重化が可能でない、または望ましくない場合に特に有用である。したがって、一般に、本方法およびシステムは、そのような多重化を利用しないこと、言い換えると、本システム 100 の全ての FMCW ドップラーレーダ 100 が同じ周波数（サブ）帯域内で同時に共存および送信することが好適である。ただし、いくつかの実施形態において、本同期方法は、特定の多重化に関連して用いることが可能であり、多重化自体は、干渉の発生を適切に抑制または回避するために十分ではない。

【0068】

多重化アプローチの代わりに、システム 100 の FMCW ドップラーレーダ 120 は一般に、後述する時間オフセットパラメータおよびわずかにオフセットされた搬送波周波数を除き、同じ公称波形およびパラメータを用いる。

【0069】

上記で説明したように、協働しない（非協調的）FMCW ドップラーレーダは、波形がどの程度異なるかに依存して、レンジー速度領域で様々な程度に不鮮明化したレーダ間干渉を発生させる。たとえばゴルフボールの追跡などにおける現在の用途では、弱い標的信号の高い感度およびこれらの信号のパラメータの推定精度に対する高い要件を維持することが望まれる。さらに、多くの具体的な用途において、FMCW ドップラーレーダ 120 間の干渉は非常に強い場合があり、干渉対雑音比は、多くの場合、任意のコヒーレント積分の前に 50～60dB にも上り得る。よって、そのような強い干渉の不鮮明化は、レンジー速度領域内の大きな領域にわたり実質的に感度が低下するため、望ましくない。

【0070】

同時に、レンジー速度領域には、要件が厳しくない領域が存在し得る。たとえば、それより上では標的物体 10 が検出されないと予想される最大速度が存在し得る。

【0071】

したがって、「一致しない」波形を有する FMCW ドップラーレーダのセットを用いることにより、感度および推定精度の観点からシステム性能の著しい低下が生じ、その理由は、通常、干渉が極めて強く広範に広がっており、レンジー速度領域内で干渉がどこに位置するかに対する制御が存在しないことである。

【0072】

代わりに、本明細書で用いられるアプローチは、干渉に対する感度が比較的低い、レンジー速度空間内の有利な領域に干渉が集中するように、FMCW ドップラーレーダ 120 を調整することである。さらに、そのような領域内の干渉エネルギーが、感度およびパラメータ推定精度に対する高い要件に関連する領域に「漏れ出す」ことを防止することが望ましい。以下で説明するように、後者は、処理に用いられる窓を慎重に選択し（分解能と再度ローレベルとの妥協点を構成し）、場合によっては、ダウンチャープに対応するチャープ繰り返し間隔の短部分の影響を低減するために、送信チャープの Tx ブランキング／テーパリングの使用も考慮することによって達成され得る。

【0073】

また後述するように、協働する FMCW ドップラーレーダ 120 のセット内の相互干渉の緩和のための 1 つの重要な手段は、互いに対して時間遅延を有するように、問題のレー

10

20

30

40

50

ダ１２０の個々のチャープの開始をスケジュールすることである。遅延のセットが適切に選択され、公称波形パラメータがそれ以外同じである場合、意図的に課された遅延により、他のＦＭＣＷドップラーレーダのＩＦ周波数は、犠牲レーダにおいて、犠牲レーダの受信器帯域幅外（すなわち標的物体１０のために探索されない「レンジ」）となる。その結果、干渉が大幅に減衰される。

【００７４】

後述するように、共存するＦＭＣＷドップラーレーダ１２０の数は、単に掃引を遅延させることによって対応可能な数よりも多い場合が多い。そのような場合、本発明者は、サブグループを用いてこの問題を解決する方法を開発しており、そのようなサブグループ内のシステムは相互に干渉することなく動作可能であるが、サブグループ間では干渉が存在するように時間オフセットが選択される。

10

【００７５】

システム１００内の各ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０のフィルタチェーン（すなわち、アナログフィルタ２０６と２０６'におけるデジタルフィルタリングステップとの組み合わせ）は、（最大ＩＦレンジ、すなわち標的検出のための最大レンジを超える）可能な限り鋭い遷移帯域と、可能な限り高い帯域外減衰とを有するべきである。これにより、高密度の時間オフセットのセットを選択しながら干渉除去要件を満たすことができるので、共存し得るＦＭＣＷドップラーレーダ１２０の数が増える。

【００７６】

したがって、システム間の意図的な相対チャープ遅延を導入することによって、関心対象レンジ区間外に干渉を位置付けることが可能である。

20

【００７７】

ただし、一般的な場合、Ｎ個のグループが定義され得る。これらのグループは、たとえば「第１の」グループ１２１および「第２の」グループ１２２、および場合によってはさらなるグループを用いる後述の方法で、掃引遅延の時間オフセットの決定中に定義され得る。その後、各グループは、他のグループの時間オフセットと重なり合う（すなわち同様のスパンの）自身の時間オフセットのセットを与えられる。グループ内のＦＭＣＷドップラーレーダ１２０に与えられる時間オフセットは、そのグループ内のレーダ１２０間の干渉のない動作を保証する。しかし、上述したように、大きなグループ間干渉が存在し得る。

30

【００７８】

サブグループ干渉の影響を低減するために、１つのサブグループ内のＦＭＣＷドップラーレーダ１２０の掃引の中心周波数を他の全てのサブグループに対して変更することが可能であり、それによって、このレーダ１２０のグループがＦＭＣＷドップラーレーダ１２０の他のグループに与える干渉は、他のレーダグループにおける標的検出および推定のために重要ではない速度に辿り着く。具体的には、グループ間干渉の影響を低減するために、全てのサブグループは、固有に（サブグループ内の全てのＦＭＣＷドップラーレーダ１２０で同じく）調整された中心周波数を与えられ得る。

【００７９】

よって、グループ１２１、１２２間の中心周波数の小さな差（搬送波周波数差）は、速度領域におけるグループ１２１、１２２の分離を達成して、ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０のグループ１２１、１２２間の相互干渉の影響を低減するために選択され得る。

40

【００８０】

これにより、以下で詳述するように、「サブグループの分離」が達成される。

【００８１】

受信フィルタチェーン２０６、２０６'（ＩＦ次元でのフィルタリング）の場合と同様、位置特定された干渉応答から広がる速度領域内のサイドローブレベルを低減するために、速度フィルタリング（ドップラーフィルタリング）も適用されてよく、このサイドローブは、使用される処理窓によって指示される。その後、ドップラーフィルタリングは低速時間次元に沿って連続的に動作し、高い阻止帯域減衰を有する非常に長いフィルタの使用

50

を可能にする。このフィルタリングは、バンドパスフィルタリングであってよい。

【0082】

本明細書で用いられる場合、受信FMCWドップラーレーダ120の「フィルタチェン」206、206'とは、たとえばレンジ速度マトリックスを生成するために2次元フーリエ変換を行う前の、受信アンテナ201の出力端子からレーダの最終出力までの総伝達関数を意味する。

【0083】

図7は、本発明の1つ以上の実施形態に係るシステム100を示し、システム100は、複数の同一場所に配置されたFMCWドップラーレーダ120のうちの1つまたはいくつかに対して空間を移動する標的物体10のそれぞれのレンジおよび速度を検出するために特に適合されている。図7は、本発明で使用される原理を明確化する目的で提供されており、システム100の幾何学的レイアウトは実際には異なり得ることが理解される。

【0084】

システム100は、上述した種類の掃引送信に関して挙動を同期させるためにFMCWドップラーレーダ120の各々と通信するように構成された中央制御モジュール110を備えてよい。あるいはシステム100は、そのような中央制御モジュール110を備えない場合もあり、その場合、各FMCWドップラーレーダ120は、所定の挙動規則のセット、および／または上述したような共通時間基準と結合された上記種類の同期を達成することを目的とするピアツーピア直接連携を確立するためにレーダ120間で通信するための通信機能を備えてよい。

【0085】

いずれにせよ、システム100は、ハードウェアおよび／またはソフトウェアに実装される制御機能を備え、制御機能は、中央制御モジュール110に集中化され、および／またはいくつかの上記FMCWドップラーレーダ120に分散され、その後、関与する各レーダ120のそれぞれの制御ロジック209においてローカルに実行される。この制御機能は、当該FMCWドップラーレーダ120間の上記同期を行うことによって上記FMCWドップラーレーダ120の各々に対する低減された干渉を提供するように構成される。

【0086】

中央制御モジュール110は、集中化クロック機能111を備えてよく、この集中化クロック機能111は、たとえばGPS信号などのグローバル時間基準信号のための受信アンテナを備えてよい。中央制御モジュール110は、このクロック機能111を用いて、FMCWドップラーレーダ120にわたり、時間オフセットに対して上記同期を行ってよい。

【0087】

中央制御モジュール110は、適切なソフトウェアに実装され得る制御ロジック112も備えてよい。制御ロジック112は、上記制御機能の一部であってよく、または上記制御機能を構成してよい。

【0088】

さらに、中央制御モジュール110は、個々のFMCWドップラーレーダ120と通信するために、上述した通信手段211に対応する通信手段113を備えてよい。

【0089】

また図7は、様々なFMCWドップラーレーダ120も示し、それらは、そのようなFMCWドップラーレーダ120の第1のグループ121およびそのようなFMCWドップラーレーダ120の第2のグループ122に分類される。そのようなFMCWドップラーレーダ120のグループは2より多い数であってもよいことが理解される。

【0090】

一般に、本発明者は、システム100が、少なくとも3つのFMCWドップラーレーダ120、場合によっては少なくとも5つのFMCWドップラーレーダ120、さらには少なくとも10のFMCWドップラーレーダ120を備えてよいことを想定する。さらに、本明細書で開示される方法を用いて同期されるシステム100のFMCWドップラーレー

ダ１２０の各々は、最も近いピアＦＭＣＷドップラーレーダ１２０から最大５，０００メートル、たとえば最大３，０００メートル、たとえば最大１，０００メートル、たとえば最大５００メートル、たとえば最大１００メートルなどに配置され得る。

【００９１】

図７は、同一場所に配置された各ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０から放出される電磁波１２３（掃引レーダ信号）を示す。留意点として、現実のシナリオでは、アンテナ２０１、２０２は特定の指向性を有するが、この事実は、図７の簡潔性のために無視される。

【００９２】

本文脈において、ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０が「同一場所に配置」されることは、それらが干渉に対して少なくともペアごとに互いに影響することを意味する。

10

【００９３】

より正確には、図７に示すように、ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０の各々は、少なくともいくつかの可能な構成に従って構成される場合、少なくとも１つの他のＦＭＣＷドップラーレーダ１２０からの干渉による影響を受け得る。具体的には、好適には、１つの「島」の単一のＦＭＣＷドップラーレーダ１２０が他の任意のそのような「島」のＦＭＣＷドップラーレーダ１２０からの干渉を経ることはないという意味で、ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０の完全に隔離された「島」は存在しない。２つ以上のそのような「島」が存在する場合、それらは、ここでの用語では異なるシステム１００に属するとみなされる。

【００９４】

本文脈において、「干渉による影響を受ける」とは、当該ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０に到達する干渉電磁レーダ波が、犠牲ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０におけるフィルタリングの後、犠牲ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０からの出力情報に悪影響を及ぼすように、当該犠牲ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０の最小感度を超える電力を有することを意味する。

20

【００９５】

検出される各標的物体１０は、少なくとも１つのＦＭＣＷドップラーレーダ１２０の検出レンジ内に存在する。

【００９６】

図２において、ＦＭＣＷドップラーレーダ２００は、１つのみの受信アンテナ２０２を備える。しかしながら、システム１００において用いられるＦＭＣＷドップラーレーダ１２０のうちの１つまたはいくつかは、複数の受信アンテナ２０２を備えてよいことが理解される。これにより、たとえば、当該ＦＭＣＷドップラーレーダ２００が追跡対象の標的物体１０に対する相対方向を検出可能であることが実現され得る。本明細書で説明される原理は、この場合にも等しく適用可能である。

30

【００９７】

本発明の例示的な実施形態において、システム１００は、たとえば飛行中の野球ボールやゴルフボールといった飛行中のボールなど、飛行中のスポーツ物体の形態である標的物体１０を追跡するように構成される。いくつかの実施形態において、システム１００は、たとえばシステム１００を用いて追跡されるゴルフボールを打つための複数の区画を有するゴルフ練習場などのゴルフ練習場で用いられる。この場合、当該レンジに関連する所望の地上面積および／または空中容積を共同でカバーするために、複数のＦＭＣＷドップラーレーダ１２０が提供される。

40

【００９８】

システム１００において、様々な種類のコンピュータが用いられ得る。中央制御モジュール１１０（具体的には制御ロジック１１２）およびＦＭＣＷドップラーレーダ１２０の各々（特に制御ロジック２０９）は、そのようなコンピュータの例を構成する。

【００９９】

一般に、コンピュータの必須要素は、命令を実行するためのプロセッサと、命令およびデータを格納するための１つ以上のメモリデバイスとである。本明細書で用いられる場合、「コンピュータ」は、サーバコンピュータ、クライアントコンピュータ、パーソナルコ

50

ンピュータ、埋込型プログラマブル回路、または専用論理回路を含み得る。そのようなコンピュータは、たとえばインターネットなどのネットワークを介して、またはたとえばBluetooth（登録商標）接続などの任意の適切なデジタル通信用ピアツーピア接続を介して、1つ以上の他のコンピュータと接続され得る。

【0100】

各コンピュータは、アプリケーション層とオペレーティングシステムとに分散され得る様々なソフトウェアモジュールを含み得る。これらは、たとえば標的物体10検出プログラム、2D標的物体10追跡プログラム、および／または標的物体10の3D追跡プログラムとして動作する様々なプログラムを含む実行可能および／または解釈可能なソフトウェアプログラムまたはライブラリを含んでよい。他の例は、FMCWドップラーレーダ時間掃引オフセットおよび／または周波数掃引オフセット同期プログラムを含む。用いられるソフトウェアモジュールの数は、実装形態ごとに、またそのようなコンピュータごとに異なり得る。上記プログラムの各々は、1つ以上のコンピュータネットワークまたは他の適切な通信ネットワークによって接続された1つ以上のデータ処理装置に分散された埋込型ファームウェアに、および／またはソフトウェアモジュールとして実装され得る。

10

【0101】

図8は、1つ以上のハードウェアプロセッサ312、1つ以上の追加のデバイス314、非一時的コンピュータ可読媒体316、通信インタフェース318、および1つ以上のユーザインタフェースデバイス320を含むハードウェアまたはファームウェアデバイスを含み得るデータ処理装置300である、そのようなコンピュータの例を示す。プロセッサ312は、たとえば追加のデバイス314の1つなどのストレージデバイスを含み得る非一時的コンピュータ可読媒体316に格納された命令など、データ処理装置300内で実行するための命令を処理することができる。いくつかの実装において、プロセッサ312は、シングルコアまたはマルチコアプロセッサ、または2つ以上の中央処理ユニット（CPU）である。データ処理装置300は、通信インタフェース318を用いて、たとえばネットワーク380を介して1つ以上の他のコンピュータ390と通信する。したがって、様々な実装において、説明されるプロセスは、シングルコアまたはマルチコアコンピューティングマシンで、および／またはコンピュータクラスタ／クラウドなどで、並列または直列に実行され得る。

20

【0102】

データ処理装置300は、アプリケーション層とオペレーティングシステムとに分散され得る様々なソフトウェアモジュールを含む。これらは、本明細書で説明されるような個々のFMCWドップラーレーダ200のローカル制御ロジック209を構成し、たとえば伝搬決定ステップS2、クロック同期ステップS3、掃引時間オフセット同期ステップS4、掃引周波数オフセット同期ステップS5、および物体検出ステップS6のうちの1つ以上など、本明細書で説明される種類の方法の少なくとも一部を行うように構成されたプログラム330を含む実行可能および／または解釈可能なソフトウェアプログラムを含み得る。またプログラム330は、たとえば伝搬決定ステップS2、クロック同期ステップS3、掃引時間オフセット同期ステップS4、掃引周波数オフセット同期ステップS5、および物体検出ステップS6のうちの1つ以上など、本明細書で説明される種類の方法の少なくとも一部を行うように構成された、本明細書で説明されるような制御ロジック112も構成してよい。さらに、プログラム330は、少なくとも2つの同一場所に配置されたFMCWドップラーレーダ120の少なくとも1つに対して空間を移動する物体10のそれぞれのレンジ、速度、および／または方向を検出するためのプログラムであってもよい。

30

40

【0103】

ユーザインタフェースデバイス320の例は、ディスプレイ、タッチスクリーンディスプレイ、スピーカ、マイクロフォン、触覚フィードバックデバイス、キーボード、およびマウスを含む。さらに、ユーザインタフェースデバイス（単数または複数）は、ローカルデバイス（単数または複数）320である必要はなく、データ処理装置300から遠隔に

50

あってよく、たとえば1つ以上の通信ネットワーク（単数または複数）380を介してアクセス可能なユーザインタフェースデバイス（単数または複数）390であってよい。データ処理装置300は、たとえば、1つ以上の追加のデバイス314、たとえばフロッピーディスクデバイス、ハードディスクデバイス、光ディスクデバイス、テープデバイス、およびソリッドステートメモリデバイス（たとえばRAMドライブ）のうちの1つ以上を含み得る非一時的コンピュータ可読媒体316上に、本明細書で説明されるような動作を実施する命令を格納してよい。さらに、本明細書で説明される動作を実施する命令は、1つ以上のコンピュータ390から（たとえばクラウドから）ネットワーク380を介して非一時的コンピュータ可読媒体316にダウンロードされてよく、いくつかの実装において、RAMドライブは、コンピュータの電源がオンになる度に命令がダウンロードされる揮発性メモリデバイスである。

10

【0104】

説明されるコンピュータハードウェアは、物理ハードウェア、仮想ハードウェア、またはそれらの任意の組み合わせであってよいことが理解される。

【0105】

したがって、システム100は、上記FMCWドップラーレーダ120の各々に対して低減された干渉を提供するために、本発明の1つ以上の実施形態に係る方法を行うように構成される。

【0106】

本発明はさらに、上記種類の中央制御モジュール110のコンピュータハードウェアおよび／または分散型FMCWドップラーレーダデバイス120のセットの各々またはいくつかにおいて実行すると上記方法を行うように構成されたコンピュータソフトウェア製品にも関連する。したがって、コンピュータソフトウェア製品は、本方法を行うために必要な機能を提供するためにシステム100の一部として展開され得る。

20

【0107】

したがって、上記システム100および上記コンピュータソフトウェア製品の両方は、本明細書で説明される方法ステップ、特に後述する同期手順に属するステップを行うことによって、上記FMCWドップラーレーダ120の各々に対して低減された干渉を提供するように構成された上述の制御機能を備える、または具体化することによって、複数の同一場所に配置されたFMCW（周波数変調連続波）ドップラーレーダ120のうちの1つまたはいくつかに対して空間を移動する標的物体10のそれぞれの距離および速度を検出するように構成される。

30

【0108】

一般に、本方法に関連して記述されることは全て、本システムおよび本コンピュータソフトウェア製品に等しく適用可能であり、逆も同様である。

【0109】

ここで図9を参照すると、本発明の1つ以上の実施形態に係る方法が示され、方法は、複数の同一場所に配置された上記種類のFMCWドップラーレーダ120に対する低減された干渉を提供するためのものであり、FMCWドップラーレーダ120の各々は、当該FMCWドップラーレーダ120に対して空間を移動する標的物体10のそれぞれの距離および速度を検出するためにシステム100において用いられる。

40

【0110】

FMCWドップラーレーダ120は、好適には、上述したように、レーダ120を同期させるために、直接または中央制御モジュール110を介してレーダ間通信のために相互接続される。

【0111】

ただし、代替実施形態において、FMCWドップラーレーダ120の少なくともいくつか、たとえば全ては、レーダ間通信のために相互接続されていない。代わりに、それらは、共通の信頼できる時間基準（たとえば接続されていないFMCWドップラーレーダ120の各々でローカル受信されたGPS信号など）、および接続されていないFMCWドッ

50

ブラーレーダ１２０の各々に適用された所定のローカル同期パラメータ設定のセットを用いて同期され得る。後者の場合、同期は、標的物体１０を検出および追跡するためのシステム１００の動作の前に、そのような同期パラメータの値を決定および実装することによって実現されてよく、その後、そのような同期は、繰り返し、または必要に応じて更新され得る。そのような同期および再同期は、後述する種類のレーダ間干渉の測定によって得られる測定情報に基づいて行われ得る。接続されていないＦＭＣＷドップラーレーダ１２０の場合、そのような干渉測定は、手動の測定ステップを伴い、あるいは、共通時間基準に対する関与するＦＭＣＷドップラーレーダの各々に対する試験信号の所定の送信スケジュールに基づき、接続されていないＦＭＣＷドップラーレーダ１２０の各々が、特定の（または各）識別された他のＦＭＣＷドップラーレーダ１２０から受信した電磁レーダ信号の飛行時間および総干渉を確実に測定することを可能にする。

10

【０１１２】

ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０の（適切なレーダ間時間オフセットの決定に関する）同期は、一般に、各干渉ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０から対応する犠牲ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０のセットの各々までの飛行時間または伝搬時間の初期測定および／または繰り返しの測定に基づいてよい。そのような飛行時間または伝搬時間は、マルチパス伝搬によっていくつかの時間を含み得る。マルチパスにより、各経路に１つ、伝搬時間遅延のいくつかの異なる値が推定され得る。一般に、本発明の目的に関連する飛行時間または伝搬時間とは、フィルタリング後に関連信号対雑音比を上回る信号強度、および／または当該犠牲ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０において当該犠牲ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０による標的物体１０の検出または追跡に有害な干渉をもたらすのに十分な強度である信号強度で当該犠牲ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０に到達する最も長い飛行時間または伝搬時間である。

20

【０１１３】

そのような測定の代替として、いくつかの実施形態において、伝搬時間および／または干渉レベルは、考慮されるＦＭＣＷドップラーレーダ１２０の各々の既知の地理的位置に基づいて計算される。そのような地理的位置は、物理的測定によって、および／または、当該ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０によって、たとえばＧＰＳなどの受信地理位置信号から当該各ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０におけるそれぞれの位置を読み取ることによって得られ得る。この代替例は、マルチパス伝搬を自動的に考慮に入れることはないが、場合によっては、十分な情報を提供する場合があり、より単純な構成によって好適であり得ることが理解される。また、想定される最大伝搬時間遅延を有するマルチパスを考慮に入れるために、余分な時間マージンを手順に導入することも実現可能である。ただし、相互干渉レベルは、自由空間伝搬損失およびレーダの既知の位置および姿勢を考慮するレーダ方程式に基づいて推定され得る。いくつかの実施形態において、ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０間の伝搬に影響を及ぼす物理環境の所定のモデルが用いられてもよい。

30

【０１１４】

一般に、本方法の１つ以上の実施形態によると、それぞれの周波数掃引送信時間オフセットおよびそれぞれの掃引周波数オフセットは、各ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０について選択される。特に、掃引時間オフセットは、当該ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０の測定出力に対するそのような干渉の影響を最小限にする目的で、ＩＦ、または標的物体１０レンジ領域内で干渉を割り当てるために、（他のレーダに関連して）各ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０について個別に調整され、掃引周波数オフセットは、標的物体１０の速度領域内で干渉を割り当てるために（他のレーダに関連して）各ＦＭＣＷドップラーレーダ１２０について個別に調整され得る。そのような個別の調整は、場合によっては、１つまたはいくつかのＦＭＣＷドップラーレーダ１２０について上記オフセットのうちの１つがゼロに維持され、または変更されないが、他のＦＭＣＷドップラーレーダ１２０については、当該オフセットが変更され、または非ゼロ値に設定されることを意味し得る。調整は、上述したように決定されたＦＭＣＷドップラーレーダ１２０間の干渉レベルおよび伝搬時間に基づいて行われる。以下に示すように、掃引周波数オフセットは、特定のグルー

40

50

ブ 1 2 1、1 2 2 に属する全ての F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 が同じ量だけ周波数オフセットされるように、グループレベルで行われ得る。

【 0 1 1 5 】

本方法は、F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 の相互干渉および伝搬時間遅延が推定される繰り返しの評価手順を備えてよい。その手順から出力された情報に基づいて、最適化された送信（チャープ）送信時間オフセットおよび搬送波周波数オフセットのセットが、たとえば制御モジュール 1 1 0 などの上記（中央または分散型）制御機能によって決定される。1 つの F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 から残りの F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 のいくつかまたは全てに対する干渉の重大性が評価され、その後、測定された伝搬時間遅延は、時間スロット分布の最適化に用いられ得る。この目的のために、各 F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 は、この情報の導出を可能にするための測定機能を備えてよい。測定結果は、ネットワークを介して F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 によって共有され、分散方式で処理されてよく、測定値は、さらなる情報集約のために中央制御モジュール 1 1 0 に送信され得る。

10

【 0 1 1 6 】

第 1 のステップ S 1 において方法が開始する。

【 0 1 1 7 】

後続する伝搬決定ステップ S 2 において、上記 F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 のペア間で予想される電磁波伝搬時間が決定／推定される。この伝搬決定ステップ S 2 は、上述したように行われてよく、特に、そのような F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 ペア間の予想される干渉レベルを測定することも備えてよい。「予想される」という用語は、後述する標的物体 1 0 検出ステップ S 6 中に予想される時間およびレベルを指す。

20

【 0 1 1 8 】

予想される電磁波伝搬時間および／または予想される干渉レベルは、システム 1 0 0 内の 2 つの F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 の各ペアについて測定され得る。

【 0 1 1 9 】

そのような相互干渉の決定は、受信 F M C W ドップラーレーダ 2 0 0 のフィルタチェーン 2 0 6、2 0 6' における減衰を考慮せずに行われ得る。代わりに、伝搬決定ステップ S 2 は、後述するように、全ての聴取（犠牲）レーダの通過帯域内に収まる干渉を測定するように設計され得る。これは、後述する方法ステップに従って、F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 が与える干渉に関してそれらを分類するために用いられ得る相互干渉の決定／推定が、フィルタチェーン 2 0 6、2 0 6' の I F 周波数減衰に直接依存しない場合があることを意味する。

30

【 0 1 2 0 】

伝搬決定ステップ S 2 は、送信 F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 からそれらが経験する干渉レベルに関する情報を抽出するために、1 つの F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 が順に自身の送信器 2 0 1 を作動させ、他の全ての F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 が送信 F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 を同時に聴取することを備えてよい。そのような送信および聴取は、ステップ S 6 における標的物体 1 0 の検出の場合と同じアンテナ 2 0 1、2 0 2 を用いて行われ得る。

40

【 0 1 2 1 】

さらに、伝搬決定ステップ S 2 は、上記 F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 のうちの 1 つまたはいくつかは、それぞれの電磁試験信号を放出することを備えてよい。そのような電磁試験信号は、その後、たとえば干渉強度の観点から検出され、他の F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 のうちの 1 つまたはいくつかによって時間調整され得る。

【 0 1 2 2 】

特に、送信 F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 は、干渉評価のために特別に設計された専用波形を用いてよい。これはたとえば、関与する全ての F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 に知られている所定の周波数における純粋な（単調）C W（連続波）、または後述するような標準 F M C W 波形であってよい。

50

【0123】

伝搬時間は、所定の閾値を上回る電力レベルを有する（可能なマルチパス送信経路のセットの中で）最も長いそれぞれの経路として推定され得る。

【0124】

試験信号が純粋なCW電磁信号である場合、伝搬時間は、場合によっては直接測定されず、代わりに、当該FMCWドップラーレーダ120の既知の2Dまたは3D位置を用いて直接経路伝搬時間として計算され得る。たとえば、この情報は、上述したように、各FMCWドップラーレーダ120内のそれぞれの内蔵GPS機器から便利に導出され得る。

【0125】

ただし、別の代替例として、電磁試験信号は、一定ではない周波数を有する波形を備えるFMCW波である。たとえば、そのようなFMCW波は、いくつかまたは全てのFMCWドップラーレーダ120によって知られており用いられる共通波形を有してよい。共通波形は、たとえば、ステップS6（以下を参照）において標的物体10の検出を行う場合に通常のレーダ機能によって用いられるのと同じ基本波形であってよい。

10

【0126】

より一般的に言うと、このように伝搬決定ステップS2は、各FMCWドップラーレーダ120が、特定の送信FMCWドップラーレーダ120の1つから上記電磁試験信号を受信し、受信した電磁試験信号波の最大検出伝搬時間を決定することを備えてよい。好適には、この決定は、当該受信FMCWドップラーレーダ120の受信時の最小電力を有する受信電磁試験信号のみを考慮することによって、任意のマルチパス波軌道を考慮する。

20

【0127】

さらに、伝搬決定ステップS2は、当該電磁試験信号を受信する各FMCWドップラーレーダ120において、受信電磁試験信号の最大電力、または少なくとも受信電磁試験信号に基づいて検出された最大干渉を測定することも備えてよい。

【0128】

異なるFMCWドップラーレーダ120から放出されるFMCW電磁試験信号は、いくつかの実施形態において同一ではなく、互いに対して周波数オフセットされ得る。たとえば、各放出FMCWドップラーレーダ120から放出される共通波形を有するFMCW電磁試験信号は、他のFMCWドップラーレーダ120の各々によってそれぞれの電磁試験信号のために用いられた搬送波周波数に対してオフセットされた搬送波周波数を有してよい。

30

【0129】

送信FMCWドップラーレーダ120の周波数をピアレーダ120に対してわずかにオフセットすることによって、ゼロ速度（ゼロドップラー）情報をフィルタ除去するという、受信FMCWドップラーレーダ120において用いられる任意のクラッタフィルタに伴う問題が回避される。そのようなオフセットは、たとえば任意の2つのFMCWドップラーレーダ120にわたり10%未満など、小さくてよい。

【0130】

FMCW試験信号の代替例は、伝搬時間遅延の推定を可能にし、基本的な精度は、各受信FMCWドップラーレーダ120が共通時間基準にどの程度正確にロックオンすることができるかによって決定される。実用例における共通クロック基準からの逸脱は、（約15mのバイアスに対応する）わずか0.05マイクロ秒になり得ると予想される。

40

【0131】

伝搬決定ステップS2は、受信レーダとしての各FMCWドップラーレーダ120について、またはFMCWドップラーレーダ120の1つまたはサブセットのみについて、伝搬時間および／または干渉の大きさを推定することを備えてよい。いずれの場合も、伝搬決定ステップS2は、現在の状況に依存して、後に同じまたは異なるFMCWドップラーレーダ120に対して新しく始動され得る。一例として、新たなFMCWドップラーレーダ120がシステム100に追加された場合がある。この場合、当該FMCWドップラーレーダ120をシステム100に追加した結果生じる新たな動作前提条件を考慮に入れる

50

ために、全ての FMCW ドップラーレーダ 120 について伝搬決定ステップ S2 を行うことが好適である。そのような追加により、システム 100 全体にわたる動作前提条件が変更され得る。

【0132】

試験信号が FMCW である場合、試験信号は、受信レーダのうちの 1 つまたはいくつか、たとえば全てにおける受信試験信号が、そのフィルタ通過帯域に収まるように適合され得る。これは、以下に説明するように、いくつかの異なる方法で達成され得る。

【0133】

以下の方法論を用いると、伝搬経路遅延は、犠牲 FMCW ドップラーレーダ 120 において、特に、犠牲レーダの受信器帯域幅内に収まるように試験信号を設計することによって、各経路に関連する電力レベルとともに、マルチパス環境内の干渉 FMCW ドップラーレーダ 120 から推定され得る。

【0134】

図 19 を参照すると、この状況において重要なマルチパス成分を見失う危険性がある理由がわかる。

【0135】

したがって、図 19 は、犠牲レーダのミクサの入力における試験信号（破線）と犠牲レーダ（実線）とのミクサ掃引の分離を示す。主要な犠牲掃引の両側の $+/-B_v$ に位置する「点線の掃引」は、受信器帯域幅 B_v を示す。ミクサの（任意のフィルタリング前の）出力における IF 周波数は、（2 つの成分があり）IFL および IFH である。 $T_{vict} - T_{interf} + \tau_{path}$ が変化すると、IFK および IFH も変化する。当然、マルチパス成分を測定するためには、試験信号掃引が点線で囲まれた領域内に収まるように $T_{vict} - T_{interf}$ を選択しなければならない、すなわち $IFL < B_v$ でなくてはならない（図 19 では満たされず）。

【0136】

まず、試験信号を送信するレーダに関するチャープシーケンスの時間オフセットは、犠牲（聴取）レーダによって用いられる時間オフセットと同じであること、さらに、犠牲レーダにおける A/D 変換器 208 は、任意のエイリアシングが無視され得るように大きなサンプリング周波数を有することが想定される。

【0137】

試験信号はチャープ繰り返し間隔 T_{Rep} で周期的であるため、直接経路伝搬時間遅延 $\tau + \text{距離} \cdot c \cdot T_{Rep}$ の倍数（一方向伝搬）に対応するマルチパスは、公称上、犠牲レーダにおけるミクサの出力において同じ IF 周波数を生成する。これは、犠牲レーダが、送信チャープ i に対応する直接経路成分を受信する場合、以前送信されたチャープ $i-1$ 、 $i-2$ など犠牲レーダに到達することが理由である（ $\tau + k \cdot T_{Rep}$ 、 $\tau + (k+1) \cdot T_{Rep}$ などの伝搬時間遅延を有する強いマルチパス成分が存在する場合）。よって、任意のマルチパス成分によって（任意のフィルタリング前に）生じる可能性がある最も高い IF 周波数は、 $IF_{Max} = \mu \cdot T_{Rep}$ が上限であり、 μ は（共通）チャープレートである。

【0138】

留意点として、遅延の増加に伴い、入来干渉チャープと犠牲レーダミクサ掃引との分離が大きくなり、負の IF（レーダフィルタ設計に依存してフィルタ除去され得る負の範囲）および（維持される）正の IF を生じさせる。さらに、正の周波数成分の電力は、分離が大きくなると減少する。概ね、 $0.5 \cdot T_{Rep}$ の時間分離は、正の周波数成分の電力を 3 dB 減少させる。

【0139】

IF 周波数は、 $f_{IF} = \mu \cdot \tau$ として遅延に依存し、ここで τ は伝搬遅延時間である。有限サンプリング周波数 F_s を考慮すると、観測され得る明確な最大 IF 周波数は、 $f_{IF} = \mu \cdot \tau \leq 0.5 \cdot F_s$ を満たすことを必要とする。これは、（一方向伝搬、 $\tau = R/c$ の場合）

【数 11】

10

20

30

40

50

$$f_{IF} = \mu\tau = \mu \frac{R}{c} \leq 0.5 F_s \rightarrow$$

$$R \leq \frac{c F_s}{2\mu}$$

(3)

の最大範囲に対応する。受信器のレーダフィルタチェーン206、206'の帯域幅は、その帯域幅が、通過する最大関心IF周波数に対応するように設計され、図19を参照すると、通常、IF_{Max}よりも大幅に小さい。例として、1つのレーダにおいて、関心対象のレンジ区間は、標的物体10の検出のために300mであってよく（すなわち双方向伝搬）、これは一方向伝搬の場合は600mに変換されるが、用いられるT_{Rep}に対応する一方向距離は、たとえば16kmであってよく、すなわち、受信器は、最大可能IF周波数IF_{Max}の3.75%しかカバーしない。

10

【0140】

したがって、試験信号を送信する場合にこの事実が考慮されない場合（すなわち、干渉掃引開始時間および犠牲掃引開始時間の同じまたはランダムな時間オフセットを用いる場合）、全ての重要なマルチパス成分が十分に検出されない場合がある。

【0141】

本発明者は、この問題を解決するために、以下に説明するように少なくとも2つのアプローチを予見する。これらのアプローチは、個別に、または同時に用いられ得る。

20

【0142】

上記2つのアプローチの1つ目において、送信FMCWドップラーレーダ120は、試験信号のシーケンスを用いる。

【0143】

その後、そのような試験信号の各々が個別の時間オフセットを有する場合、犠牲レーダにおける効果的な見かけの時間遅延は、対応する当該ミクサ204の出力において結果として生じるIF周波数と同様、変化する。試験信号のシーケンス内で用いられる（送信器レーダ時間オフセットに関する）異なる時間ステップが適切に設計されている場合、（ある時間オフセットに関する）全てのマルチパス成分が犠牲レーダの通過帯域内に収まることが保証され得る。したがって、各マルチパス成分の電力レベルおよびその（試験信号のシーケンスを送信するレーダによって用いられる既知の遅延を考慮する）伝搬時間遅延が決定され得る。

30

【0144】

例として、全ての受信器レーダ帯域幅が同じであり、B_vで示される場合が考慮される。さらに、チャープの帯域幅は、B_{chirp}で示される。次に、

【数12】

$$n = \left\lceil \frac{B_{chirp}}{kB_v} \right\rceil$$

(4)

40

によって求められる格子点の数で試験信号の時間オフセットの均一な格子を定義することができ、ここで、kは、区間0 < k ≤ 1内の調整パラメータ、たとえばk = 0.9であり、[x]は最も近い整数に切り上げられる。

【0145】

時間増分は、

$$\Delta T = T_{upchirp} / n \quad (5)$$

のように設定される。例として、B_{chirp} = 40 MHz、B_v = 2 MHz、k = 0.9である場合、

【数13】

50

$$\left\lceil \frac{B_{chirp}}{kB_v} \right\rceil = 23$$

となり、50マイクロ秒のアップ掃引、すなわち $T_{UpChirp} = 50 \cdot 10^{-6}$ と仮定すると、 $\Delta T = 2.17 \cdot 10^{-6}$ となる。

【0146】

当然、 $\mu = B_{chirp} / T_{UpChirp}$ を用いて、

【数14】

$$\mu \Delta T = \frac{B_{chirp}}{T_{UpChirp}} \frac{T_{UpChirp}}{n} = \frac{B_{chirp}}{\left\lceil \frac{B_{chirp}}{kB_v} \right\rceil} \leq kB_v$$

(6)

10

となり、すなわち、任意の犠牲レーダにおけるマルチパス成分によるIF周波数は、2つの連続する時間オフセット間で kB_v 未満しか変化しない。これにより、全てのマルチパス成分が（時間オフセットの変化により）検出可能であり、対応する伝搬時間が推定可能であることが保証される。

【0147】

上記アプローチの2つ目において、犠牲レーダは、位置データから導出される時間オフセットを用いる。この場合、送信器レーダは、「1つの試験信号」のみを送信し（試験信号は通常、チャープの数である）、時間オフセットはゼロに設定される。

20

【0148】

聴取レーダ（犠牲レーダ）は、（自身のレーダおよび送信レーダの）位置データから導出される直接経路伝搬に対応する時間オフセットを用いる（すなわち、受信器レーダは、ミクス204への基準波形入力を遅延させる）。公称上、犠牲レーダの時間オフセットは、計算された伝搬時間と同じであるべきであり、場合によっては、受信器フィルタチェーン206、206'におけるフィルタ特性を考慮するためにある程度変更される。ただし、時間オフセットは、直接経路応答が低いIF周波数を得る、すなわち近いレンジに現れるように、公称伝搬時間に近付けるべきである。

【0149】

有意なマルチパス成分がある場合、高いIF周波数を得られる（より長いレンジで現れる）。このように、検出され得る直接経路遅延に対する最大マルチパス遅延は、公称では、通常のレーダ機能のレンジカバレッジに等しい。直接経路伝搬遅延が既知であるため、追加のマルチパス伝搬時間は、直接経路成分に対するレンジ速度マップ内に現れるマルチパス成分のレンジ差から計算され得る。

30

【0150】

伝搬決定ステップS2は、いくつかのサブステップに分割することができ、サブステップは、決定された相互干渉および伝搬経路遅延の全体像を得るためにまとめて構成される。そのようなアプローチにおいて、そのような各サブステップは、1つまたはいくつかの送信FMCWドップラーレーダ120のそれぞれのサブセットを（同時ではなく繰り返し）カバーすることができ、その後、FMCWドップラーレーダ120の次のセットをカバーするために伝搬決定ステップS2の次のサブステップが呼び出されるまで、通常のレーダ標的物体10追跡動作の時間間隔が後続し、以下同様となる。

40

【0151】

最後に、伝搬決定ステップS2により、FMCWドップラーレーダ120のうちの1つまたはいくつかは、他の任意のFMCWドップラーレーダ120からの干渉を経験せず、他の任意のFMCWドップラーレーダ120に干渉を与えないことが決定される場合、そのようなレーダ120は、さらなる検討から除外され得る。ある意味では、そのような干渉しないFMCWドップラーレーダ120は、本目的に関してシステム100の一部ではないとみなされ得る。そのような決定は、時間にわたり反復的に、または繰り返して行わ

50

れ得るので、どのレーダが同じ「システム」に属するとみなされるかは、経時的に変化し得る。

【0152】

任意の伝搬決定ステップS2の後、同期ステップS4、S5が後続してよい（以下を参照）。

【0153】

クロック同期ステップS3において、上記FMCWドップラーレーダ120の各々のそれぞれのクロックは同期され得る。この同期は、たとえば中央制御モジュール110から放送された共通受信地理位置信号または共通受信時間信号などに基づいて、上述したように行われ得る。各FMCWドップラーレーダ120のそれぞれの同期クロックは、その後、FMCW掃引をトリガするためにそれぞれの掃引時間オフセットと組み合わせて用いられ得る（以下を参照）。クロック同期ステップS3は、連続的に、間欠的に、または特にトリガされた場合に行われ得る。これは、伝搬決定ステップS2の前または後に行われてよい。好適な実施形態において、各伝搬決定ステップS2を行う場合に全てのクロックがFMCWドップラーレーダ120にわたり同期される。

【0154】

掃引時間オフセット同期ステップS4において、上記FMCWドップラーレーダ120の特定の第1のグループ121内の各FMCWドップラーレーダ120に関して、異なるそれぞれの掃引時間オフセットが選択される。

【0155】

掃引周波数オフセット同期ステップS5において、上記FMCWドップラーレーダ120の特定の第2のグループ122に関して、特定の非ゼロ掃引周波数オフセット（ここでは第2の掃引周波数オフセットと示される）が選択される。この第2の掃引周波数オフセットは、上記第1のグループ121に属するFMCWドップラーレーダ120に用いられた掃引周波数パターンに対するものである。留意点として、この文脈において、「掃引周波数オフセット」、「搬送波周波数オフセット」、および「中心周波数オフセット」という用語は同じ意味を有し、同義語として解釈すべきである。

【0156】

第1のグループ121は、上記第2のグループ122と互いに素であってよい。第1のグループ121および第2のグループ122は、組み合わせると、システム100の全てのFMCWドップラーレーダ120を備えてよいが、FMCWドップラーレーダ120の追加の互いに素なグループ（第3のグループ、第4のグループなど）が存在してもよく、これらはまとめてシステム100の全てのFMCWドップラーレーダ120を構成し得る。

【0157】

同じグループ（たとえば第1のグループ121または第2のグループ122など）に属する全てのFMCWドップラーレーダ120が異なる掃引時間オフセットに関連付けられる場合があり得る。また、同じグループに属する全てのFMCWドップラーレーダ120が同じ掃引周波数オフセットに関連付けられ、異なるグループに用いられるそれぞれの掃引周波数オフセットが常に異なる場合もある。

【0158】

以下から明らかになるように、どのFMCWドップラーレーダ120がどのグループに属するべきであるかは、たとえば掃引時間オフセット同期ステップS4の一部として動的に決定され得る。したがって、このFMCWドップラーレーダ120のグループ121、122への分割は、たとえばシステム100内のFMCWドップラーレーダ120を追加または除外することによって、または他の動作前提条件の変更によって、本方法の連続的な反復（以下を参照）の結果として経時的に変化し得る。そのような再グループ分けは、好適には、伝搬決定ステップS2の反復に関連して行われる。

【0159】

掃引時間オフセット同期ステップS4は、少なくとも第1のグループ121に属するド

10

20

30

40

50

ップラーレーダ 120 に関して行われるが、このステップは、たとえば第 2 のグループ 122 および後続する任意のグループ（単数または複数）に属するドップラーレーダ 120 など、他のドップラーレーダ 120 に関連しても行われ得ることが理解される。特に、以下で例示するように、掃引時間オフセット同期ステップは、一度に 1 つのグループ 121、122 で反復的に行われてよく、その後、各そのようなグループ 121、122 は、それぞれの掃引周波数オフセット同期ステップを受ける。

【0160】

上記第 1 のグループ 121 に属する FMCW ドップラーレーダ 120 に用いられた上記掃引周波数パターンは、ゼロオフセットであってよい「第 1 の」掃引周波数オフセットに関連付けられ得るが、第 2 の（および任意の後続の）グループ 122 に属する FMCW ドップラーレーダ 120 に用いられる掃引周波数パターンは、後続の（「第 2 の」、「第 3 の」、など）掃引周波数オフセットに関連付けられてよく、そのような後続の掃引周波数オフセットの各々は、他のグループの各々に対して非ゼロである。

【0161】

後続のステップ S6 において、標的物体 10 の速度、レンジ、および／または方向は、FMCW ドップラーレーダ 120 のうちの 1 つまたはいくつかによって、そのような FMCW ドップラーレーダ 120 のそれぞれに関連して測定されるように検出され得る。そのような検出は、それ自体従来の方法で行われてよく、本明細書で説明される方法で個々の FMCW ドップラーレーダ 120 について決定された掃引時間および掃引周波数オフセットを用いる。そのような標的物体 10 の検出された速度、レンジ、および／または方向に基づいて、そのような標的物体 10 の追跡が決定され、システム 100 のユーザに表示され、またはたとえば飛距離およびボール回転などの様々な発射メトリックを計算して示すことなど、他の任意の方法で用いられ得る。そのような検出および使用は、それ自体周知であり、本明細書では詳述されない。

【0162】

後続のステップ S7 において、方法は終了する。

【0163】

本方法は、各 FMCW ドップラーレーダ 120 が残りの FMCW ドップラーレーダ 120 にどの程度干渉するかによって決定される順序で、FMCW ドップラーレーダ 120 にそれぞれの個々の時間オフセットが 1 つずつ割り当てられるように実施され得る。以下、「隔離された」FMCW ドップラーレーダ 120 という用語が用いられる場合、少なくとも同じグループ 121、122 に属する他の FMCW ドップラーレーダ 120 と比較して（たとえば全ての FMCW ドップラーレーダ 120 がグループ分けされているかに依存して）、自身の所与の時間オフセットが与えられている任意の FMCW ドップラーレーダ 120 を意味する。ある意味では、そのような FMCW ドップラーレーダ 120 は、残りの FMCW ドップラーレーダ 120 への干渉をほぼ発生させず、または残りの FMCW ドップラーレーダ 120 からの干渉をほぼ感知しないので、残りの FMCW ドップラーレーダ 120 から「隔離されている」。これは、以下で明確化される。

【0164】

以下、図 10～13 に関連して、掃引時間オフセット同期ステップ S4 および掃引周波数オフセット同期ステップ S5 を行うための方法論の例が提供される。

【0165】

多くの場合、共存する FMCW ドップラーレーダ 120 の数は非常に多いため、全てのレーダ 120 が相互干渉なく動作することができるように、そのような各レーダ 120 に時間オフセットを割り当てることは不可能である。この方法論は、この問題を解決するために、サブグループ間の搬送波周波数オフセットを用いる。これらのサブグループは、以下で詳しく説明するように、時間オフセット選択のための部分アルゴリズムの一部として決定され得る。この場合、この方法論は、これらの時間オフセットが同じサブグループに属するレーダ 120 間で干渉のない動作を可能にするように、全てのレーダ 120 のそれぞれの時間オフセットを生成する。

【0166】

上述した伝搬決定ステップS2は、当該受信レーダ120のフィルタチェーン206、206'における減衰を考慮せずにレーダ間干渉を決定するように構成され得ることが指摘される。この場合、決定／推定される相互干渉は、IF周波数に依存しない。

【0167】

本明細書で用いられる場合、「残りのシステム」という用語は、未だサブグループに割り当てられていない（自身の時間オフセットを未だ受信していない）FMCWドップラーレーダ120を意味する。

【0168】

以下では、以下の追加の表記が用いられる。

10

S：全てのFMCWドップラーレーダ120のセット。

S_i：FMCWドップラーレーダ120のi番目のサブグループ。

S_{Rem}：（手順内の段階における）残りのFMCWドップラーレーダ120のセット。

M：手順内で用いられるFMCWドップラーレーダ120の一時的なセット。

n_{is}：（隔離されている）S_i内のFMCWドップラーレーダ120の数。

δ：犠牲FMCWドップラーレーダ120の受信器フィルタチェーン206、206'に入来する対応する干渉IF信号の指定された受信器フィルタチェーン206、206'減衰に必要な最小時間オフセット。

T_k：FMCWドップラーレーダ120_kの（アルゴリズムによって決定された）時間オフセット。

20

T_{Rep}：全てのFMCWドップラーレーダ120に共通のチャープ繰り返し間隔。

τ_{kl}：FMCWドップラーレーダ120_kとFMCWドップラーレーダ120_lとの間の伝搬時間。留意点として、τ_{kl}=τ_{lk}。

【0169】

残りのFMCWドップラーレーダ120のセットは、Sと、これまでに決定された全てのサブグループS_iの集合との差であり、

【数15】

$$S_{Rem} = S \setminus \bigcup_i S_i \quad (7)$$

30

によって数学的に定義され、ここで、Uは和集合を示し、\は差集合を示す。

【0170】

そのような手順の高レベルフローチャートが図9の一部（ステップS4A～S4E）として示されるが、そのような手順の特定の例のより詳細なフローチャートは、図20に示される。以下の説明は、図9および図20の両方を参照する。

【0171】

第1に、ステップS4A（図9）において、たとえば当該受信FMCWドップラーレーダ120の各々のフィルタチェーン206、206'分析に基づいて、適切な公称最小時間オフセットδが決定される。オフセットδは、対応するIF周波数が当該FMCWドップラーレーダ120のフィルタチェーン206、206'によって十分に減衰、たとえば少なくとも80dB、または少なくとも100dB減衰されるように選択される。異なるFMCWドップラーレーダ120の受信器フィルタチェーン206、206'が同一ではない場合、特にそれらが異なるIF周波数減衰に関連付けられる場合、公称最小時間オフセットδは、最大帯域幅を有するFMCWドップラーレーダの120受信器フィルタチェーン206、206'に基づいて決定され得る。あるいは、公称最小時間オフセットδは、変数として扱われ、FMCWドップラーレーダ120の少なくともいくつか、たとえば全て、場合によっては干渉ペアについて具体的かつ個別に計算されたという意味で、手順に組み込まれ得る。一般に、公称最小時間オフセットδは、考慮される文脈において最小の所定の減衰を実現する最短時間オフセットとして選択され得る。

50

【0172】

共通基準時間ソースへの同期間の時間間隔中に予想されるクロックドリフトを考慮に入れて、公称最小時間オフセット δ に特定の追加のマージンが加えられ得る。このマージンのサイズは、場合に依りて決定される。ただし、典型的には、相対クロックドリフト $\times$ クロック同期間隔の2倍が選択され得る。たとえば、FMCWドップラーレーダ120の相対クロックドリフト m を ε_m で表し、FMCWドップラーレーダ120のクロックドリフト n を ε_n で表すと、 δ に追加されるマージンは、たとえば $(\varepsilon_m + \varepsilon_n) T_{sync}$ であってよい。GPSが時間基準として用いられる場合、 $T_{sync} = 1$ であり、 $\varepsilon_m = \varepsilon_n = 0.1 \text{ ppm}$ （同期されたFMCWドップラーレーダ120にはわずかに高い可能性がある）と仮定すると、マージンは0.2マイクロ秒となる。

10

【0173】

一般に、公称最小相対掃引時間オフセット δ は、別のFMCWドップラーレーダ120からの干渉を経験する上記FMCWドップラーレーダ120の1つのIFの所望の減衰を生成する（少なくとも所定の減衰を生成する）最小掃引時間オフセットに基づいて、上記最小相対時間オフセット、たとえば少なくともそのような所望の減衰を実現するシステム100内のFMCWドップラーレーダ120の全ペアにわたるそのような最小掃引時間オフセットを用いて決定され得る。

【0174】

最小相対掃引時間オフセットの決定は、伝搬決定ステップS2の一部であってよいので、ステップS2が行われる度に行われ得る。

20

【0175】

次に、ステップS4Bにおいて、全てのFMCWドップラーレーダ120は、他のレーダへの合計干渉に基づいてランク付けされ得る。言い換えると、ランク付けは、干渉ランク付けである。たとえば、考慮される各特定の干渉FMCWドップラーレーダ120による他のFMCWドップラーレーダ120のそれぞれの干渉対雑音比の合計が形成され得る。

【0176】

この干渉ランク付けは、上述したように干渉が決定される場合、任意のフィルタチェーン206、206'減衰を考慮せずに行われ得る。言い換えると、そのような場合、干渉ランク付けは、各犠牲FMCWドップラーレーダ120のそれぞれの通過帯域内に収まる干渉のみに基づいて行われる。

30

【0177】

したがって、全てのシステムSの干渉ランク付けは、FMCWドップラーレーダ120によってS内の残りのFMCWドップラーレーダに与えられる推定／決定された干渉に基づいて行われる。ランク1のFMCWドップラーレーダ120は、第1のサブグループ121、すなわち S_1 に割り当てられ、ゼロ時間オフセットを割り当てられる。サブグループカウンタ i は1に設定され、残りのFMCWドップラーレーダ120のセット S_{Rem} は、 $S_{Rem} = S \setminus S_1$ に設定される。

【0178】

一般に、このランク付けは、「第1の」ランク付けと示され、このランク付けを受けるFMCWドップラーレーダ120は、FMCWドップラーレーダ120の「第1のランク付けグループ」と示される。ここでは、「第1／第2のグループ」と「第1／第2のランク付けグループ」との差に留意する。

40

【0179】

第1の反復において、第1のランク付けグループは、システム100内の全てのFMCWドップラーレーダ120を備えてよい。

【0180】

さらに、第1のランク付けは、上記第1のランク付けグループの他のFMCWドップラーレーダ120に対する干渉の重大度に従って、特に、伝搬決定ステップS2において測定または他の方法で決定されたそのようなデータに基づいて行われ得る。

50

【0181】

次に、ステップS4Cにおいて、第1のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダ120の各々について、上記FMCWドップラーレーダ120のうちの最も大きな重大度で干渉するものから上記FMCWドップラーレーダ120のうちの小さな重大度で干渉するものへの順に、それぞれの第1の掃引時間オフセットが既に選択されている第1のランク付けグループ内の他のFMCWドップラーレーダ120に対する当該FMCWドップラーレーダ120の上記決定された最小相対掃引時間オフセットおよび伝搬時間遅延の両方を考慮に入れて、当該FMCWドップラーレーダ120についてそれぞれの第1の掃引時間オフセットが選択される。留意点として、ここでは、「第1の掃引時間オフセット」とは、第1のランク付けグループに属するFMCWドップラーレーダ120に関して選択された掃引時間オフセットを表す。

10

【0182】

ランク1のレーダ（他の全てに最も大きな干渉を引き起こすレーダ）は、ゼロ掃引時間オフセットに関連付けられてよく、他の第1のランク付けグループレーダ120は、このランク1のレーダの掃引時間オフセットに関連する掃引時間オフセットに関連付けられ得る。

【0183】

その後、第1のランク付けグループ内の他のFMCWドップラーレーダ120のうちの1つまたはいくつかは、対応して、それぞれの掃引時間オフセットが割り当てられている第1のランク付けグループの他のFMCWドップラーレーダ120に対して干渉のない動作を提供するそれぞれの掃引時間オフセットに連続的に関連付けられ得る。したがって、言い換えると、前者のFMCWドップラーレーダ120は、上記の用語では、他のFMCWドップラーレーダ120から「隔離」されている。

20

【0184】

そのようなFMCWドップラーレーダ120への掃引時間オフセットの各割り当ての後、第1のランク付けグループ内の任意の未だ隔離されていないFMCWドップラーレーダ120に関して別の干渉ランク付けが行われ得る。個々のレーダをそれぞれの掃引時間オフセットに関連付けることによる隔離は、第1のランク付けグループ内に、干渉のない動作の観点から現在の条件を満たす掃引時間オフセットを割り当てられ得るFMCWドップラーレーダ120がなくなるまで続行してよい。

30

【0185】

残りのFMCWドップラーレーダ120、言い換えると、第1のランク付けグループの隔離できないFMCWドップラーレーダ120は、その後、FMCWドップラーレーダ120の「第2のランク付けグループ」と示され、隔離されたFMCWドップラーレーダ120は、第1のグループ121となる。次に、第2のランク付けグループのみが、（上記の手順説明において第2のランク付けグループを第1のランク付けグループとして用いる）第2の実行のために上述した時間オフセット選択に送信されてよく、（第2のランク付けグループ内で）互いに隔離されるために、互いに対する掃引時間オフセットを得る。

【0186】

その後、隔離された第2のランク付けグループのメンバの掃引時間オフセットは、第2のランク付けグループのメンバが第1のグループ121のメンバに干渉する（また第1のグループ121のメンバに干渉される）ようなものになる。

40

【0187】

しかしながら、第2のランク付けグループは、その後、第1のグループ121のFMCWドップラーレーダ120に対する第2のランク付けグループからの干渉が、低感度の標的物体10速度区間に位置するように、第2のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダ120の搬送波周波数の共通（共有）変化を導入することによって、第1のグループから（干渉の観点から）分離され得る。対称性により、第1のグループ121からの第2のランク付けグループに対する干渉は、対応する負の標的物体10速度区間に位置することになる。

50

【0188】

より一般的に言うと、第2のランク付けグループは、第1のランク付けグループ内の1つまたはいくつかのFMCWドップラーレーダ120の中から、標的物体10の追跡動作中に所定の最小干渉レベルを生じさせないそれぞれの掃引時間オフセットを選択することが不可能であると決定されたレーダのセットとして識別され得る。場合によっては、これは、第2のランク付けグループが、それぞれの（有害な可能性のある干渉を回避するために）必要な掃引時間オフセットが閾値、すなわち最大許容値よりも長いと検出された、上記第1のランク付けグループ内のレーダ120のセットとして識別される。この閾値は、破られた場合に掃引間干渉がリスクになるように選択され得る。

【0189】

よって、第1のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダ120を調査した後、隔離することができなかったFMCWドップラーレーダ120が存在する場合、同じ手順が再び、掃引周波数オフセット選択（後述）のための準備として、残りのFMCWドップラーレーダ120のみを用いて行われる。

【0190】

言い換えると、図9に示すように、ステップS4Dにおいて、第2のランク付けグループのFMCWドップラーレーダ120は、上述した第1のランク付けグループのランク付けと同様に、干渉による順序でランク付けされる。

【0191】

したがって、この第2のランク付けグループのFMCWドップラーレーダ120のランク付けにおいて、ランク付けは、上記第2のランク付けグループの他のFMCWドップラーレーダ120に対する干渉重大度に従って、また伝搬決定ステップS2において測定されたデータに基づいて行われる。

【0192】

その後、ステップS4Eにおいて、これもまた第1のランク付けグループに関して上述したものと同様に、第2のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダ120についてそれぞれの掃引時間オフセットが決定される。

【0193】

したがって、第2のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダ120の各々について、上記FMCWドップラーレーダ120のうちの最も大きな重大度で干渉するものから上記FMCWドップラーレーダ120のうちの小さな重大度で干渉するものへの順に、それぞれの掃引時間オフセットが既に選択されている第2のランク付けグループ内の他のFMCWドップラーレーダ120に対する当該FMCWドップラーレーダ120の上記決定された最小相対掃引時間オフセットおよび伝搬時間遅延の両方を考慮に入れて、当該FMCWドップラーレーダ120についてそれぞれの掃引時間オフセットが選択され得る。

【0194】

上述のように、FMCWドップラーレーダ120の第1のグループ121として、第1のランク付けグループに属するが第2のランク付けグループに属さないFMCWドップラーレーダ120が選択され得る。FMCWの第2のグループ122として、第2のランク付けグループに属する1つまたはいくつかのFMCWドップラーレーダ120が選択され得る。

【0195】

理解されるように、この手順は、再帰的手順として実施され得る。

【0196】

図20は、そのような手順の実用的な実装を以下に従って示す。

【0197】

ステップ1：開始時、 $S_{Rem} = S \setminus S_1$ 、 $i = 1$ であり、 S_1 は、最も高い干渉ランクを有するS内の単一のFMCWドップラーレーダ120を含む。

【0198】

ステップ 2 : 「中間セット」 M は、残りの F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 のセット S_{Rem} に等しく設定することによって定義される。

【 0 1 9 9 】

ステップ 3 : ここで、サブグループ S_i 内の既に隔離された F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 との相互干渉が回避され得るように、時間オフセットが不可能な全ての F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 が M から除外される。 S_i 内の既に隔離された全ての F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 に対する M 内の F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 の各々についてチェックされる条件は、以下のとおりである。

$$T_{21m} \leq T_{22m} \quad (8)$$

ここで、下付き文字 m は、セット M 内の m 番目のシステムを示し、

【 数 1 6 】

$$T_{21m} = \max_{i \in \{1, \dots, n_{is}\}} (T_i + \tau_{im} + \delta)$$

$$T_{22m} = \min_{i \in \{1, \dots, n_{is}\}} (T_i + T_{Rep} - \delta - \tau_{im})$$

(9)

である。 $i \in \{1, \dots, n_{is}\}$ という表記は、サブグループ S_i 内の F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 にわたり最大化が行われたことを意味し、 τ_{im} は、 S_i 内の F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 と、セット M 内の m 番目の F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 との間の伝搬時間である。条件を満たさない M 内の F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 は、M から除外される。

【 0 2 0 0 】

図 2 0 に示すフローチャートに戻る前に、図 1 0 を簡単に参照して、本手順において用いられ得る時間オフセット制約がここで説明される。

【 0 2 0 1 】

特に、図 1 0 は、たとえば第 1 のグループ 1 2 1 または第 2 のグループ 1 2 2 などの特定のサブグループに関する時間オフセットの個別の決定を示す。

【 0 2 0 2 】

簡潔性のために、ここでの説明は、2 つの F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 という特別な場合を考慮することで始まるので、現在のサブグループ内の以前隔離された F M C W ドップラーレーダの数は 1 つであり、 $n_{is} = 1$ である。 $n_{is} > 1$ という一般的な場合の要件は、単純に、以下で導出される要件が、 n_{is} 個の以前隔離された F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 の全てに対して維持されなければならないことである。この例は以下で扱われる。

【 0 2 0 3 】

番号 1 を有する F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 が時間オフセット T_1 を割り当てられている（すなわち隔離されている）と仮定する。次に、F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 番号 2 の時間オフセット T_2 に関する制約、およびどのように T_2 を選択するかが求められる。最初に、 T_2 は、F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 番号 1 または F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 番号 2 のいずれも干渉を経験しないように選択されなければならない。

【 0 2 0 4 】

4 つの制約 A、B、C、および D は、図 1 0 に示すように記述され得る。図 1 0 の上部は、（F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 番号 2 に関する任意の伝搬時間遅延 τ および時間オフセット T_2 について）F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 番号 1 の位置における F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 番号 1（「システム 1」）および F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 番号 2（「システム 2」）の波形の相対タイミングを示す。同様に、図 1 0 の下部は、（F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 番号 2 に関する任意の伝搬時間遅延 τ および時間オフセット T_2 について）F M C W ドップラーレーダ 1 2 0 番号 2 の位置における F M C W

10

20

30

40

50

ドップラーレーダ 120 番号 1 および FMCW ドップラーレーダ 120 番号 2 の波形の相対タイミングを示す。

【0205】

太い破線で示される掃引シーケンスは、FMCW ドップラーレーダ 120 番号 1 に属し、太い実線で示される掃引シーケンスは、FMCW ドップラーレーダ 120 番号 2 に属する。太い掃引線と同じ様式の細い線は、IF 周波数に関する「最小分離制約」を表し、すなわち、別の FMCW ドップラーレーダ 120 からの掃引は、細い線のいずれかより近接してはならない。

【0206】

ここで、最小 IF 周波数分離は、受信器レーダ 120 のフィルタチェーン 206、206' が Δf_{min} において指定の減衰を有するように決定される Δf_{min} によって示される。したがって、ここでは、レーダ 120 が標的物体 10 を探索する異なるレンジ区間を有することに対応して異なるカットオフ周波数を有する異なる受信器フィルタチェーン 206、206' を可能にすることが明快であるにもかかわらず、同一のフィルタチェーン 206、206' を有する同一の FMCW ドップラーレーダ 120 が仮定される。また、波形は（時間および搬送波周波数オフセットを除いて）一致すると仮定される。

【0207】

公称最小時間オフセット δ と最小 IF 周波数分離 Δf_{min} との関係は、

【数 17】

$$\delta = \frac{\Delta f_{min}}{\mu}$$

(10)

であり、ここで μ はチャープレートである。

【0208】

図 10 の上部において記述された制約 A および B は、FMCW ドップラーレーダ 120 番号 2 が、既に隔離された FMCW ドップラーレーダ 120 番号 1 と干渉しないという要件に関する。制約 A は「左側制約」と称され、制約 B は「右側制約」と称される。制約 A は、 T_2 が、FMCW ドップラーレーダ 120 番号 1 への干渉を生じさせないために十分な大きさで選択されなければならないことを記述する。制約 B は、 T_2 が過剰に大きく選択されてはならないことを記述し、これは、FMCW ドップラーレーダ 120 番号 2 のチャープが FMCW ドップラーレーダ 120 番号 1 の次のチャープに到達し、FMCW ドップラーレーダ 120 番号 1 への干渉を生じさせるためである。

【0209】

図 10 の下部に記述される制約 C および D は、FMCW ドップラーレーダ 120 番号 1 が FMCW ドップラーレーダ 120 番号 2 と干渉しないという要件に関する。制約 C は「左側制約」と称され、制約 D は「右側制約」と称される。制約 C および D は制約 A および B と同様であるが、FMCW ドップラーレーダ 120 番号 2 の観点からの制約である（FMCW ドップラーレーダ 120 番号 2 は、FMCW ドップラーレーダ 120 番号 1 からの干渉を経験してはならない）。

【0210】

制約は、以下のとおりである。

A : $T_2 \geq T_1 + \delta - \tau$

B : $T_2 \leq T_1 + T_{Rep} - \delta - \tau$

C : $T_2 \geq T_1 + \tau + \delta$

D : $T_2 \leq T_1 + T_{Rep} + \tau - \delta$

(11)

【0211】

「 $\geq$ 」制約 A および C と、「 $\leq$ 」制約 B および D とをともに考慮すると、各ペアの「最も難しい」ものが選択される。 τ は正であるため、制約 C は制約 A よりも難しい。同じ理由で、制約 B が制約 D よりも難しいことがわかる。よって、FMCW ドップラーレーダ 1

10

20

30

40

50

20 番号1とFMCWドップラーレーダ120番号2との間の干渉のない動作を保証する最終制約は、

$$\begin{aligned} T_2 &\geq T_1 + \tau + \delta \\ T_2 &\leq T_1 + T_{Rep} - \delta - \tau \end{aligned} \quad (12)$$

となる。

【0212】

既に隔離されているいくつかのFMCWドップラーレーダ120が存在する、 $n_{is} \geq 1$ の一般的な場合において、(12)で定義された制約は、 n_{is} 個のFMCWドップラーレーダ120の全てに対して維持されるものとなる。

【0213】

τ_i , $i = 1, 2, \dots, n_{is}$ は、FMCWドップラーレーダ120番号2（オフセットが決定されるFMCWドップラーレーダ120）と、以前隔離されたFMCWドップラーレーダ120のサブセット内の i 番目のFMCWドップラーレーダ120との間の伝搬遅延時間と定義され（マルチパスの場合にも伝搬時間遅延が対称である）、 i 番目の隔離されたFMCWドップラーレーダ120の時間オフセットを T_i で示す（上述の式に T_1 パラメータに置き換える）。新たなFMCWドップラーレーダ120のための時間オフセットの表記 T_2 が維持される。さらに、

【数18】

$$T_{21} = \max_{i \in \{1, \dots, n_{is}\}} (T_i + \tau_i + \delta)$$

$$T_{22} = \min_{i \in \{1, \dots, n_{is}\}} (T_i + T_{Rep} - \delta - \tau_i)$$

(13)

である。

【0214】

よって、 $T_2 \geq T_{21}$ かつ $T_2 \leq T_{22}$ である限り、動作に干渉はない。留意点として、ほとんどの実用的応用において、伝搬時間遅延 τ_i および最小時間オフセット δ は、 T_{Rep} よりもはるかに小さい。これは、手順の開始時（ $n_{is} = 1$ ）において $T_{21} \ll T_{22}$ であることを示す。

【0215】

この時点で、時間オフセットをどのように反復的に選択するかを説明することが可能である。よって、所与の n_{is} 個の隔離されたFMCWドップラーレーダ120について、条件 $T_{21} \leq T_{22}$ をチェックする。真である場合、新たなFMCWドップラーレーダ120の時間オフセットは、 $T_2 = T_{21}$ として選択され、干渉のない動作を保証することができる。そうでなく、 $T_{21} > T_{22}$ である場合、考慮中の現在のFMCWドップラーレーダ120（ T_2 に対応する）は、セット $\{1, \dots, n_{is}\}$ 内のFMCWドップラーレーダ120との相互干渉なしで動作するための時間オフセットが不可能である。この場合、そのFMCWドップラーレーダ120は、現在のサブグループ内の既に隔離されたFMCWドップラーレーダ120に対して隔離することができないFMCWドップラーレーダ120のプールに移され、現在のサブグループに関する今後の反復から除外される。そのようなFMCWドップラーレーダ120は、最終的に、別のサブグループのメンバになる。

【0216】

ステップ4：このステップにおいて、手順は、Mが空であるかをチェックする。から出ない場合、手順はステップ5に進み、そうでない場合、ステップ8に進む。

【0217】

ステップ5：このステップにおいて、M内のFMCWドップラーレーダ120によってM内の残りのFMCWドップラーレーダ120に与えられる干渉に基づいて、M内のFM

CWドップラーレーダ120のランク付けが行われる。したがってこれは、上記で説明した種類の「干渉ランク付け」である。たとえば、干渉FMCWドップラーレーダ120による他のFMCWドップラーレーダ120の干渉対雑音比を合計することができる。

【0218】

ステップ6：ステップ4によって決定されたように、以下でインデックス

【数19】

$\hat{m}$

で示されるM内の最も高いランクのFMCWドップラーレーダ120は、上記で詳述したように

【数20】

$$T_{\hat{m}} = T_{21\hat{m}}$$

として時間オフセットを与えられる。このFMCWドップラーレーダ120は、この時点で、サブグループ S_i 内の任意のFMCWドップラーレーダ120による干渉されず、または干渉を生じさせずに動作することができるような自身の時間オフセットを受信している。したがって、インデックス

【数21】

$\hat{m}$

によって定義されたFMCWドップラーレーダ120は、セットMからセット S_i へ移動され、 n_{is} は1増加する。

【0219】

ステップ7：このステップにおいて、Mが空であるかがチェックされる。空でない場合、手順はステップ3に進み、ステップ3～6を繰り返す。最終的に、Mは空になり、手順はステップ8に到達する。

【0220】

ステップ8：このステップにおいて、 $S_{Rem} = S_{Rem} \setminus S_i$ を設定することによって S_{Rem} が更新され、すなわち、この時点で定義されているサブグループ S_i 内のFMCWドップラーレーダ120が S_{Rem} から除外される。

【0221】

ステップ9：このステップにおいて、 S_{Rem} が空であるかがチェックされる。空である場合、全てのFMCWドップラーレーダ120は、それぞれのサブグループに割り当てられ、FMCWドップラーレーダ120が自身のサブグループ内の他の任意のFMCWドップラーレーダ120への干渉を生じさせず、または他の任意のFMCWドップラーレーダ120からの干渉を経験せずに動作し得るような時間オフセットを与えられている。この場合、手順は終了し（ステップ11に進み）、そうでない場合、ステップ10に移動する。

【0222】

ステップ10：ここで、サブグループインデックス i が1増加する（ $i = i + 1$ ）。 S_{Rem} 内のFMCWドップラーレーダ120の干渉ランク付けが行われ、ランク1のFMCWドップラーレーダ120は、（この時点で単一のメンバしか含まない）新たなサブグループ i 、 S_i 内の第1のFMCWドップラーレーダ120（メンバ）として置かれる。このFMCWドップラーレーダ120には、ゼロ時間オフセットが割り当てられる。残りのFMCWドップラーレーダ120のセット S_{Rem} から決定された S_i 内のランク1のFMCWドップラーレーダ120を差し引くことにより、新たな「中間セット」Mが定義され、すなわち $M = S_{Rem} \setminus S_i$ である。その後、手順はステップ3に進み、ステップ

10

20

30

40

50

3～9を繰り返す。

【0223】

ステップ11：これは最終状態であり、全てのFMCWドップラーレーダ120は、それぞれのサブグループを割り当てられ、FMCWドップラーレーダ120が自身のサブグループ内の他の任意のFMCWドップラーレーダ120への干渉を生じさせず、または他の任意のFMCWドップラーレーダ120からの干渉を経験せずに動作し得るような時間オフセットを与えられている。

【0224】

ステップ5で行われた繰り返しの干渉ランク付けの理由は、1つのFMCWドップラーレーダ120が（「隔離」された場合に起こり得るように）考慮から除外されると、通常、残りのFMCWドップラーレーダ120の中のランク順位が変化するためである。よって、隔離手順の反復ごとに干渉ランク付けを再び行うことによって、干渉の観点から「最悪の」FMCWドップラーレーダ120が、効果的な方法で時間オフセットを用いて隔離される。

【0225】

上記から明らかであるように、サブグループ内のFMCWドップラーレーダ120間の相互干渉は、この時点で、適切な時間オフセットを定義することによって緩和されている。しかしながら、FMCWドップラーレーダ120のサブグループ間（たとえば第1のグループ121と第2のグループ122との間）には有意な干渉が存在し得る。これは、後述するように、他のサブグループの搬送波周波数に対するサブグループ内のFMCWドップラーレーダ120の各々の搬送波周波数の共通変化を導入することによって緩和され得る。好適には、これらの搬送波周波数オフセットは、サブグループ間の干渉が、重要でない速度領域に位置するように選択される。

【0226】

しかしながら、搬送波周波数オフセットの選択をより詳しく説明する前に、図11に示すように、FMCWドップラーレーダ120のレイアウトに基づいて、掃引時間オフセット選択の例示が提供される。この図11において、指定された犠牲FMCWドップラーレーダ120（番号1）は、（0，0）に位置する。19の干渉FMCWドップラーレーダ120が、レンジおよび角度方向にわたり分散している。図11の図は、上方から見た図であり、アンテナ座標系の軸は、個々のFMCWドップラーレーダ120の位置に描かれる。

【0227】

上述した手順を行った後、隔離されたFMCWドップラーレーダ120の数は13であった（第1のグループ121）。さらに、互いに対して掃引時間オフセットが割り当てられたが第1のグループ121に対して割り当てられていない7つのFMCWドップラーレーダ120（第2のグループ122）があった。図12aおよび図13a（拡大バージョン）において、第1のグループ121に属する隔離されたFMCWドップラーレーダ120の全ペアについて、結果として生じるIF周波数がプロットされる。図13aを調べると、次に説明するように、第1のグループ121内の隔離されたFMCWドップラーレーダ120は互いに干渉しないことが明らかである。

【0228】

特に、図12aは、第1のグループ121内の上記隔離されたFMCWドップラーレーダ120の全てのペアごとのIF周波数を示す（図13aは拡大図）。密接した水平破線は、受信器帯域幅に、全ての干渉IF成分が少なくとも115dBにおいて減衰されるように決定されたマージンを足したものを示す。

【0229】

図12bおよび図13bは、図12aおよび図13aに対応するが、第2のグループ122の状況を示す。

【0230】

上記の一部を要約すると、第1のランク付けグループ内の全ての可能なFMCWドップ

10

20

30

40

50

ラーレーダ 120 について個別の固有掃引時間オフセットが決定されると、この隔離された FMCW ドップラーレーダ 120 のグループは、上記で用いた用語では「第 1 のグループ」121 となる。この時点で、第 2 のランク付けグループ内の FMCW ドップラーレーダ 120 が考慮され、この第 2 のランク付けグループ内の全ての FMCW ドップラーレーダ 120 に個別のグループ固有掃引時間オフセットが割り当てられた場合、それらは上記の用語で「第 2 のグループ」122 を形成する。これで全ての FMCW ドップラーレーダ 120 のグループ 121、122 への割当てが完了する。しかしながら、この時点で、第 1 のグループ 121 にも第 2 のグループ 122 にも割り当てられていない FMCW ドップラーレーダ 120 が未だ存在する場合、手順は継続し、第 3 の（場合によってはさらに後続の）ランク付けグループを編成する。したがって、残りの FMCW ドップラーレーダ 120 が第 3 のランク付けグループを形成し、手順は、上述したような対応する方法で再び反復する。現在考慮されているランク付けグループの FMCW ドップラーレーダ 120 の特定の最大数にグループ固有掃引時間オフセットを割り当てることができると決定される度に、そのランク付けグループの FMCW ドップラーレーダ 120 は、上記用語における次のグループを形成し、手順は、システム 100 の全ての FMCW ドップラーレーダ 120 がグループに割り当てられるまで継続する。

10

【0231】

上記第 1 および第 2 のグループ 121、122（および場合によっては任意の追加のグループ）が形成され、全ての FMCW ドップラーレーダ 120 にグループ固有掃引時間オフセットが割り当てられると、ステップ S4 は終了する。

20

【0232】

ただし、図 9 に示すように、掃引周波数オフセット同期ステップ S5 は、ステップ S4 に対して任意の時間関係で参加し得る（実際は、ステップ S3、S4、および S5 の場合も同様である）。したがって、ステップ S5 は、ステップ 4 の前に、ステップ S4 と並行して、またはステップ S4 の終了後に行われてよい。また、ステップ S4 において識別された様々なグループ 121、122 に周波数オフセットの所定のセットが用いられ、ステップ S5 における掃引周波数オフセットの同期は、上記所定の掃引周波数オフセットのセットのうちのそれぞれ固有の掃引周波数オフセットに上記識別されたグループ 121、122 の各々を割り当てるとのみである場合もある。

【0233】

FMCW ドップラーレーダ 120 の第 1 のグループ 121 の関心対象の標的物体 10 の距離区間内での強い局所干渉（当該干渉は、搬送波周波数が公称上同じである場合に低速度に位置する）のリスクを回避するために、FMCW ドップラーレーダ 120 の第 2 のグループ 122 の搬送波周波数（掃引中心周波数）は、標的物体 10 を正確に検出および追跡するシステム 100 の能力に影響を及ぼさない速度領域に干渉を位置付けるように調整（減少または増加）され得る。そのような速度領域は、異なる特定の実施形態にわたって変動し得ることが理解される。標的物体 10 がゴルフボールである特定の場合、干渉は、 0 m/s 未満、または -35 m/s 未満、および／または 80 m/s 以上、または 100 m/s 以上の検出速度に（グループ 121、122 にわたり適切な掃引周波数オフセットを選択することによって）局所化され得る。

30

40

【0234】

2 つのグループ 121、122 のみがある特別な場合、第 2 のグループ 122 の搬送波／中心周波数は、第 1 のグループ 121 に対してチャープ繰り返し周波数の半分だけ増加（または減少）され得る。このように、第 1 のグループ 121 内の FMCW ドップラーレーダ 120 が経験する干渉は、多くの実施形態において有害な干渉を生じさせない明確な最低（または最高）速度まで移動される。より具体的には、第 1 のグループ 121 内の第 2 のグループ 122 によって生成される干渉を、（負の側で）明確な最低速度成分まで移動させるために、第 2 のグループ 122 内の FMCW ドップラーレーダ 120 の共通搬送波周波数は、 $\Delta_{HF} = 0.5 / T_{Rep}$ の量だけ周波数シフトされる（正のシフトを選択）。この搬送波周波数シフトは、レーダ処理における（正の）ドップラーシフトとして解

50

釈され、（上述したように）負の速度にマッピングされる。留意点として、対称性により、第1のグループ121からの第2のグループ122に対する干渉は、対応する正の速度区間に位置する。

【0235】

他の実施形態において、搬送波周波数選択は、対応する大きさの掃引周波数シフトを導入することによって、任意の速度値に干渉を導くために行われ得る。

【0236】

一般に、上述したように掃引周波数オフセットを用いて異なるグループ121、122にわたり誤解速度をオフセットすることは、物体10の誤検出が生じないように、（対応する掃引周波数の選択によって）問題のない物体10追跡速度区間に位置し得るだけではない。そのような速度シフトは、周波数シフトされていない場合に速度生成干渉に近い、または速度生成干渉を含む速度区間において実際の物体10を追跡するための感度も増加させ得る。

【0237】

したがって、それぞれの掃引周波数オフセットは、たとえば上記グループ121、122のうちの1つまたはいくつか、たとえば各々などについて、上記第1のグループ121に属するFMCWドップラーレーダ120と上記第2のグループ122に属するFMCWドップラーレーダ120との間の干渉が、所定の速度範囲外である、追跡物体10の速度の誤解または検出感度の低下をもたらすように、十分に大きく選択され得る。特に、掃引周波数オフセットは、上記複数のFMCWドップラーレーダ120によって用いられた掃引繰り返し周波数の0.3および0.7倍の間、たとえば0.4および0.6倍の間、たとえば約または丁度0.5倍などに選択され得る。

【0238】

そのような掃引周波数シフトは、本明細書で説明される方法論に従って識別されたシステム100内のFMCWドップラーレーダ120の3つ以上のグループがある場合でも、全ての識別されたグループ121、122などに関して導入され得ることが理解される。第1のグループ121には「ゼロ」掃引周波数シフトが割り当てられ、他のグループ（第2のグループ122および任意の後続グループ）には、様々な固有の非ゼロ掃引周波数シフトが割り当てられ得る。重要な点は、2つのそのようなグループ121、122が同じ相対掃引周波数シフトを有することはなく、全てのそのようなFMCWドップラーレーダ120のグループ121、122は、それぞれの掃引周波数シフトに関連付けられ、標的物体10に現れるグループ間干渉を当該用途のために問題のないものにすることである。

【0239】

上記同期ステップS3、S4、S5の後、後続する標的物体10検出ステップにおいて、システム100は、システム100の上記複数のFMCWドップラーレーダ120のいくつかを用いて、1つまたはいくつかの移動標的物体10の、それぞれの測定FMCWレーダ120に対するそれぞれの位置および速度を測定してよい。この測定は、上記FMCWドップラーレーダ120のいくつかまたは各々が、上記選択されたそれぞれの掃引時間オフセットおよび上記選択されたそれぞれの掃引周波数オフセットを用いてFMCW掃引を繰り返し放出することによって、それ自体従来の方法で行われ得る。

【0240】

上述のように、複数のFMCWドップラーレーダ120は、たとえば複数の受信レーダアンテナ202を用いて、検出された標的物体10に対する方向を検出することが可能な1つまたはいくつかのFMCWドップラーレーダ120を備えてよい。いくつかの実施形態において、いくつかの異なるFMCWドップラーレーダ120は、1つの同じ標的物体10を同時に異なる角度から検出または追跡する。

【0241】

また上述したように、上記FMCWドップラーレーダ120の各々によって用いられるそれぞれの掃引波形は、当該FMCWドップラーレーダ120によって用いられる上記それぞれの掃引時間オフセットおよび掃引周波数オフセットを除いて、上記FMCWドップ

10

20

30

40

50

ラーレーダ 120 にわたって同一であってよい。したがって、全ての FMCW ドップラーレーダ 120 によって用いられる波形は、同じチャープレートおよび／または同じ持続時間および／または同じ帯域幅を有し得る同一の線形 FMCW 波形であってよい。

【0242】

図 9 に示すように、伝搬決定ステップ S2、掃引時間オフセット同期ステップ S4、および掃引周波数オフセットステップ S5 は、たとえば定期的に、および／または追加の FMCW ドップラーレーダ 120 をシステム 100 に追加する場合、またはシステム 100 に対する他の任意の構成またはトポロジの更新や変更を行う場合に、繰り返して行われ得る。またクロック同期ステップ S3 も、繰り返し／間欠的に行われてよい。

【0243】

たとえば、FMCW ドップラーレーダ 120 は通常、一度に 1 つずつ展開され、ネットワークに接続される。FMCW ドップラーレーダ 120 がアクティブ化され、共通時間基準ソースにロックされると、FMCW ドップラーレーダ 120 は、いくつかの専用波形（上述した試験信号波形）を用いて自身の TX 機能を働かせ、または別の協働 FMCW ドップラーレーダ 120 の試験信号送信を聴取するために、たとえば中央制御モジュール 110 から、または当該レーダ 120 のユーザインタフェースを介してインストールするユーザからのキューメッセージを待機するように構成され得る。言い換えると、このキューメッセージは、その後、上記で説明された同期ステップ S3、S4、S5 の開始を定義し、これらのステップはその後、システム 100 内に既に存在するいくつか、または全ての FMCW ドップラーレーダ 120 を関与させ得る。

【0244】

同期ステップ S3、S4、S5 は、追加または代替として、システム 100 内の相互干渉および FMCW ドップラーレーダ 120 間の伝搬時間遅延を評価し、上記で例示したように適切な措置を行うために、定期的に行われてもよい。また同期ステップ S3、S4、S5 は、動作前提条件に影響を及ぼす何らかのパラメータ値の変更の自動検出、またはシステム 100 のユーザによる手動トリガのいずれかに基づいて、必要に応じて行われてもよい。

【0245】

以下、図 14～17 に関連して例が提示され、システム 100 の FMCW ドップラーレーダ 120 の調整なしで犠牲レーダ 120 に関してどのようにレンジ速度応答が見え得るか、および上述した手順を用いて調整が適用された場合にどのように見え得るかが示される。

【0246】

図 11 に示すシナリオが用いられる。上述したように、20 の FMCW ドップラーレーダ 120 が含まれ、そのうちの 1 つが「犠牲レーダ」（原点にあるレーダ）として指定される。このレーダに関して、干渉経験がレンジ速度領域において示される。この例のデータは、明確性および簡潔性のために、簡略化されたシステム 100 のシミュレーションから導出される。

【0247】

干渉 FMCW ドップラーレーダに対する最大距離（レンジ）は 756 m である。一致した波形の場合、ゼロ時間オフセットを仮定すると、IF 周波数は、信号処理においてこの距離の半分、すなわち約 378 m に点応答を生成する。犠牲レーダ（さらに言えば全てのレーダ）の受信器帯域幅は、対応する -3 dB レンジが 304 m であるものとなる。この観点から、全てのレーダがチャープシーケンスにゼロ時間オフセットを用いる場合、約 610 m より遠いレンジにあるレーダは、犠牲レーダの受信器チェーン内のフィルタによってますます減衰されることに留意する。610 m 未満のレンジを有する干渉レーダ（犠牲レーダ以外）は 14 ある。さらに、（双方向伝搬を仮定すると）115 dB の減衰が存在する IF 値に対応するレンジは 400 m であり、これは、（干渉に関して）一方向伝搬の場合には 800 m に変換される。よって、「 -3 dB レンジ」内に 14 のレーダがあるが、全てのレーダは「 -115 dB レンジ」区間内にある。「遷移帯域」（610～800

10

20

30

40

50

m) 内にある $19 - 15 = 4$ つのレーダは、実際の IF 周波数および受信器の送信器機能の詳細な特性に依存して様々な程度に減衰される。この説明において、自由空間減衰の影響は無視されるので、現実では遠いレンジにあるレーダは、追加の大きな相対減衰を有する。そうでない場合、レーダは、出力電力、アンテナ利得などに関して同一であり、全ての干渉は、犠牲レーダに真っ直ぐ向けられる。

【0248】

さらに、これらのシミュレーションにおいて、犠牲レーダに熱雑音を加えられた。干渉レーダによって生成された干渉対雑音比は、送信および受信におけるアンテナ利得、異なる損失などを含む、レーダ方程式で正確にモデル化された。

【0249】

まず、調整されていない場合を見ると、全ての掃引時間オフセットがゼロに設定された。これは、結果として得られる IF 周波数に影響を及ぼす主要な要因が伝搬時間遅延であることを意味する。

【0250】

さらに、この調整されていない場合に関して、FMCW ドップラーレーダ 120 は、ロックオンする共通時間基準を有さない。これは、FMCW ドップラーレーダ 120 のクロック／発振器が互いに対して大きなドリフトを有することを意味する。したがって、波形は（公称仕様が同じであっても）ある程度異なっているため、結果として多少の不鮮明化が生じた。発振器が異なる速度で動作するため、IF 周波数および「ドップラー」の両方が時間に伴い変動した。このシミュレーションに関する相対クロックドリフトは、区間 $-25 \text{ ppm} \sim 25 \text{ ppm}$ でランダム化（均一分布）された（ $x \text{ ppm}$ は、クロックが毎秒 x マイクロ秒変化することを意味する）。ドリフトは、 20 ms のコヒーレント積分時間にわたって一定であると仮定された。

【0251】

この場合の結果が図 14 に示され、下部は、上述した調整されていない場合に関する犠牲 FMCW ドップラーレーダ 120 のレンジー速度マップを示す。この場合、約 14 の有意な干渉成分がカウントされ、ラベルは、最も高い電力を有するものを示す。また、公称波形パラメータが一致する場合でも干渉応答の比較的大きな焦点ボケがあり、これは大きな相対クロックドリフトに起因することに留意する。

【0252】

個々のドリフトに関連付けられた FMCW ドップラーレーダ 120 を有するシステム 100 の追加の問題は、これが通常、標的物体 10 の誤検出軌道のリスクを高めることである。これは、干渉による検出が、特に、時間オフセットおよび伝搬時間遅延が、標的物体 10 検出のための関心対象レンジ区間内に IF 成分があるようなものである場合、その後経時的に規則的に生成されるためである。検出は、レンジおよび（わずかに）速度が変化し、追跡器は、干渉によって、標的物体 10 軌道のような情報を誤って検出し得る。

【0253】

次に、同じシステムに関して、上述した種類の同期手順を適用した結果が調査される。

【0254】

ここでは FMCW ドップラーレーダ 120 は共通時間基準にロックオンされ、FMCW ドップラーレーダ 120 間の相対クロックドリフトは非常に小さい。このシミュレーション部分において、 0.05 ppm の相対クロックドリフトが用いられ、 $-0.05 \text{ ppm} \sim 0.05 \text{ ppm}$ の区間内で均一分布を用いてランダム化された。参照のために、図 20 に示す手順が用いられ、2 つのグループ 121、122 を以下のように自動的に決定した。

【0255】

第 1 のグループ = [1 13 7 10 8 15 2 17 9 6 18 5 4]。

第 2 のグループ = [3 14 19 20 11 16 12]。

【0256】

その結果は図 15 に示され、この調整された場合に関する犠牲レーダのレンジー掃引マ

10

20

30

40

50

ップおよびレンジー速度マップが示される。

【0257】

したがって、共存のためのアプローチは意図したとおりに機能することがわかる。第1のグループ121の干渉レーダ（犠牲レーダを含めて第1のステップにおいて隔離される合計13のFMCWドップラーレーダ120が存在した）は、関心対象レンジ区間の外に置かれた。さらに、7つのレーダの第2のグループ122の干渉レーダは、（この効果をプロット内で見えやすくするために上述した値0.5PRFではなく）0.45PRFに対応する小さな上向き搬送波周波数シフトを得た。この搬送波周波数シフトの結果、クロックドリフトがゼロである場合、 $-120.9\text{ m/s} = -\lambda f_D / 2$ の速度シフトが生じる。ただし、クロックドリフトは正確にゼロではなく速度の変化は正確ではないが、本目的、すなわち干渉を小さな速度から十分遠くに移動させるためには十分である。

10

【0258】

犠牲レーダ120が経験する相対IF周波数を（拡大して）示す図17から、図15でラベル付けされた鋭い点応答を生成する（犠牲受信器の通過帯域内のIF周波数を生成する）のは（予想どおり）第2のグループ122のレーダ番号3であるとわかる。レーダ番号3は、第2のグループ122のメンバである。偶然、第2のグループ122の他のレーダは、対応するIF周波数が犠牲受信器の阻止帯域内であるような合計相対遅延を表示した。図17において、図内の破線は、犠牲受信器チェーン206、206'が115dBの減衰を有する周波数を示す。

20

【0259】

図15を（「ソフトブランキング」ではなく「ハードブランキング」を用いて、以下参照）調査すると、低速度にいくらかの残留干渉（リッジ）が存在する。これは、干渉レーダのダウン掃引によって生成された短い過渡信号によるものである。これらの過渡信号は「広帯域」であり、「主要IF周波数」から遠くにある高いスペクトルコンテンツを有し、その一部は、犠牲レーダの受信器通過帯域内に漏れる。この現象は、この現象を低減するためのいくつかの手段とともに、以下で詳しく説明される。

【0260】

単に検証のために、レンジー掃引マップおよびレンジー速度マップを示す図16において、同じ例がクロックドリフトなしでシミュレートされた。図16の下部におけるラベルは、完全に同期したクロックに対する予想と同様に、速度 -120.9 m/s で干渉成分が移動することを示す。

30

【0261】

上述したように、レンジ次元においてFMCWドップラーレーダ120を分離するために送信チャープの意図的な遅延を用いることが提案される。ただし、短期間のダウンチャープは、犠牲FMCWドップラーレーダ120内のミクサの出力における短い過渡信号を生成する。これらの過渡信号は「広帯域」であり、「主要IF周波数」から遠くにある高いスペクトルコンテンツを有する。これらのスペクトル成分は、多かれ少なかれ犠牲受信器の通過帯域内に漏れ、距離（レンジ）領域内のリッジに沿って過剰な雑音を生成する。そのような干渉のリッジは、たとえば図15に低速度において識別され得る。これらのリッジが正確にゼロ速度に位置している場合は、通常、レーダ信号処理の一部としてクラッタフィルタが適用され、ゼロ速度をフィルタ除去するために、小さな問題である。しかしながら、いくらかの残留発振器ドリフトにより、これらのリッジは、標的物体10検出のために通常良好な感度が所望されるゼロ速度付近のいくつかの小さな速度区間で「動き回る」ことになる。

40

【0262】

そのような干渉は、戻りランプのブランキング（たとえば通常の鋸歯パターンのダウンチャープまたは逆鋸歯パターンのアップチャープなど）と、過渡信号を「ソフトに」し、過渡信号の高スペクトルコンテンツの大きさを低減するテーパリングとの組み合わせを用いて低減され得る。この原理は、送信信号およびミクサ信号の両方に適用され得る。しかしながら、過渡信号の上記高スペクトルコンテンツの緩和に関して、送信信号へのこの原

50

理の適用が重要である。

【0263】

本明細書で用いられる場合、「ブランキング」という用語は、周波数パターンの戻りランプ中に送信電力を低減すること、または完全にオフに切り換えることを意味する。「ハードブランキング」とは、アップチャープ中に値1、ダウンチャープ中に値0（完全にオフに切り換えられた送信電力）であるテーパリング関数を意味する。「ソフトブランキング」とは、より滑らかな形状を有するようなハードブランキングの修正を意味する。ソフトブランキングは、送信帯域幅が低減され、標的応答をある程度減少させるため、通常のレーダ機能のレンジ分解能に影響を及ぼし、ピーク応答の低減は、テーパリング損失と称される。これはさらに、典型的には送信エネルギーを低減し、さらなるS N R（信号対雑音比）の低下をもたらす。

10

【0264】

一般に、上述したFMCW掃引は、それぞれの戻りランプ波形を備えてよく、上記戻りランプ波形は、その後、ハードブランキングまたは平滑化される。

【0265】

ハードブランキングおよびソフトブランキング関数の例は、「ハード」ブランキングの例および「ソフト」ブランキングの例を示す図18に示される。ダウンチャープ（戻りランプ）は、 $t = 51.1 \mu s$ で開始し、チャープ繰り返し間隔 $t = 53.3 \mu s$ で終了する。1つの興味深い点は、ソフトブランキングを成すためにどの程度「ソフト」または「平滑」にするかである。一方で、ブランキングがソフトであるほど、経験される干渉は小さくなる。一方、レンジ分解能は低下する。レーダが、TX波形のデジタル合成および高性能の柔軟な線形可変増幅器を備える場合、ほぼ任意のテーパリング関数が設計され得る。しかしながら、図18の設計は、設計パラメータの観点から限られた柔軟性しか有さない比較的単純な解決策を示す。このレーダに関するTXでのソフトテーパリングの設計は、電子回路のRC定数の値を慎重に選択することを伴った。よって、完全に対称なテーパリング関数を設計することはできず、このソフトブランキングは、ソフトブランキングのスペクトル特性（対称性など）の調査に基づく妥協案であった。

20

【0266】

ブランキングがない場合、ハードブランキングおよびソフトブランキングは、図18に示すハードおよびソフトブランキング関数を用いて単純な2レーダシナリオについて比較された。干渉レーダの時間オフセットを犠牲掃引時間オフセットに対してゼロからチャープ繰り返し間隔までステップさせると、各例の最大干渉レベルが（以前と同様に約300mの関心対象標的レンジ区間内で）観測された。その結果は以下のとおりであった。

30

【0267】

ブランキングなし：-45.3 dB

ハードブランキング：-71.9 dB

ソフトブランキング：-77.4 dB

【0268】

ハードブランキングは干渉を26.6 dB減少させ、ソフトブランキングは、ハードブランキングよりもさらに5.5 dBの改善をもたらした。よって、ソフトブランキングは、干渉を32.1 dB減少させた。ソフトブランキングを用いることによる帯域幅減少は1.71%であり、これは、ハードブランキングと比較して点標的応答の幅が1.74%増加したことを示す。

40

【0269】

本出願の様々な図に示す例を通して、一般にハードブランキングが用いられた。

【0270】

以上、好適な実施形態が説明された。ただし、当業者には、本発明の基本概念から逸脱することなく、開示された実施形態に対する多数の修正がなされ得ることが明らかである。

【0271】

50

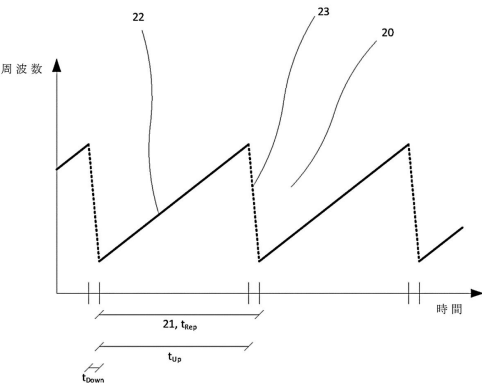
たとえば、システム 100 は、たとえばより多い数のレーダ機器、およびたとえば物体追跡実現性および 3D 軌道をリアルタイムで決定するために物体 10 追跡データを処理するために構成された様々なコンピュータシステムなど、標的物体 10 を検出および追跡するための多数の追加部品を備えてよい。

【0272】

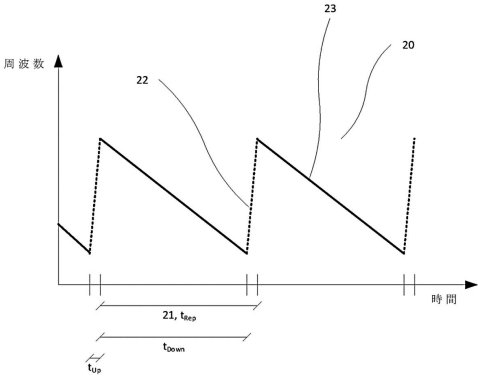
よって、本発明は、説明された実施形態に限定されず、添付の特許請求の範囲の範囲内で変更され得る。

【図面】

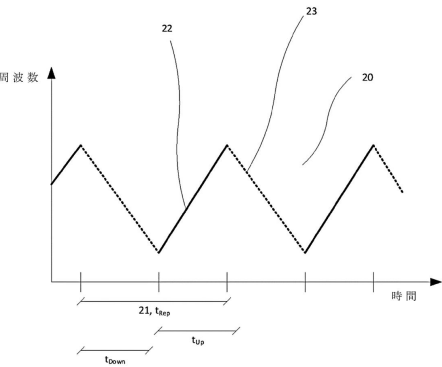
【図 1 a】



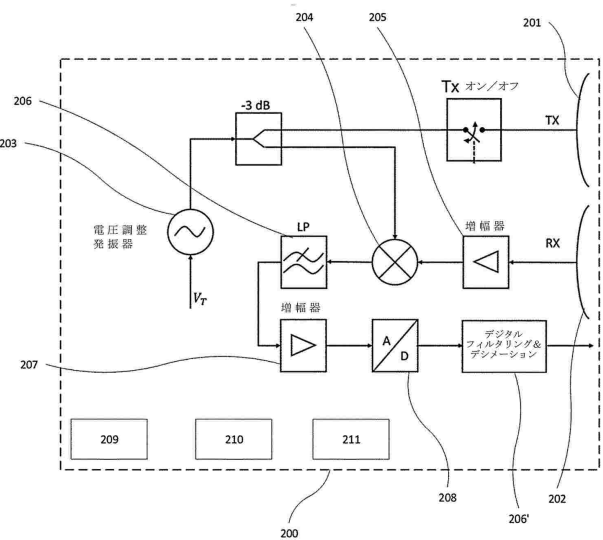
【図 1 b】



【図 1 c】



【図 2】



10

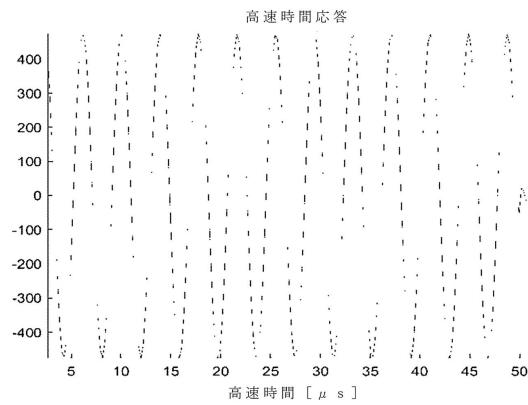
20

30

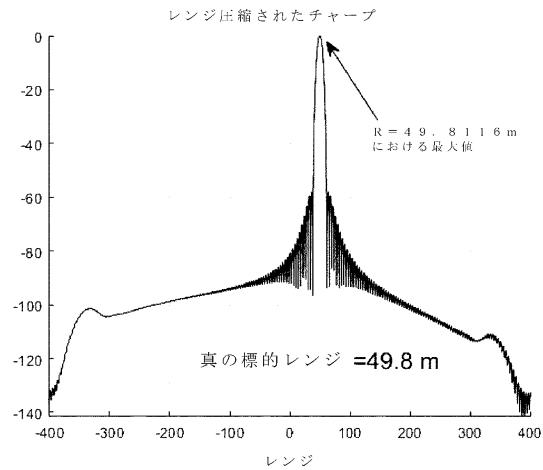
40

50

【図 3】

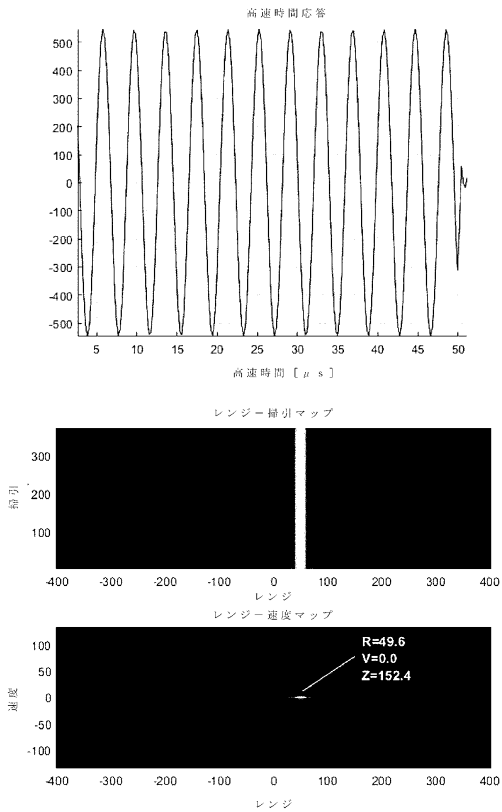


【図 4】

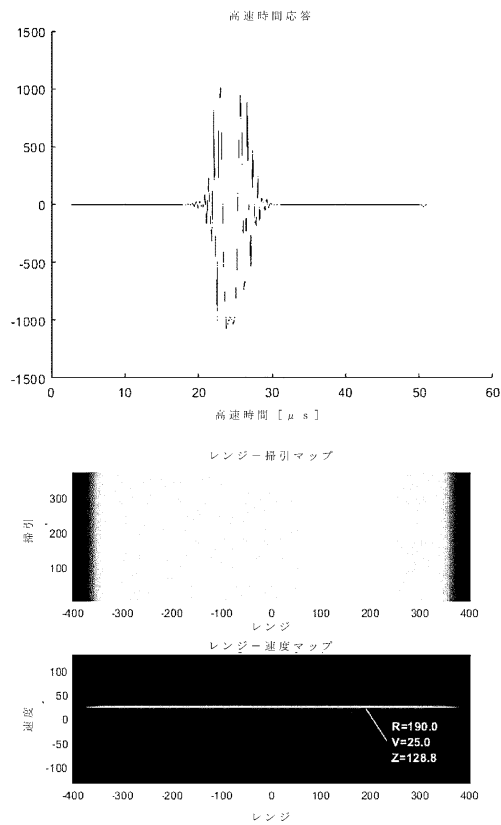


10

【図 5】



【図 6】



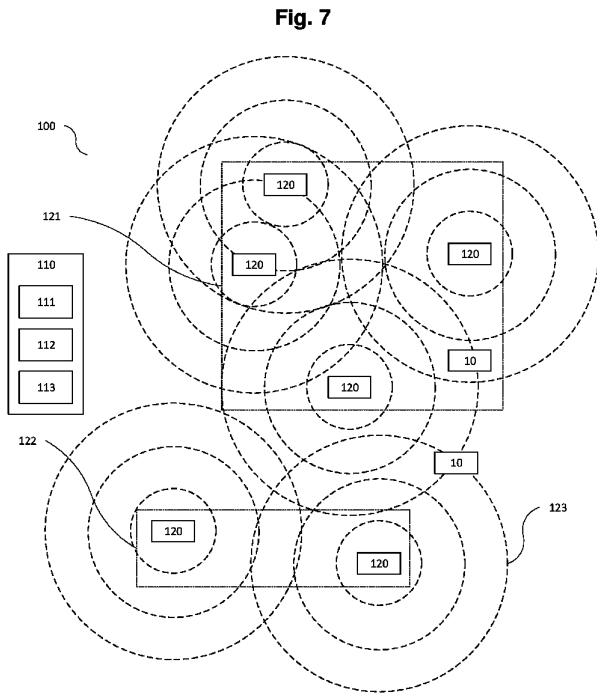
20

30

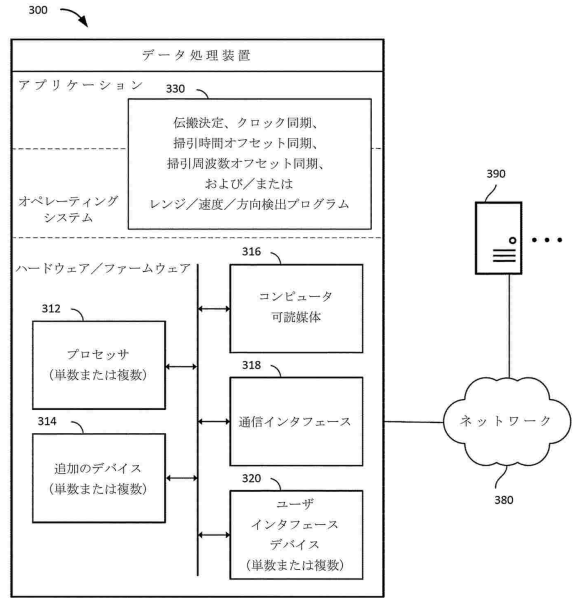
40

50

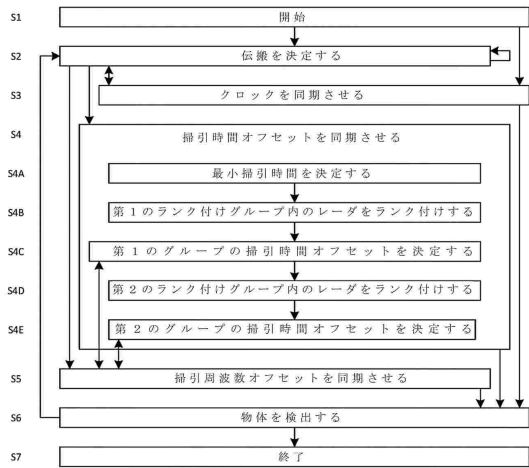
【図 7】



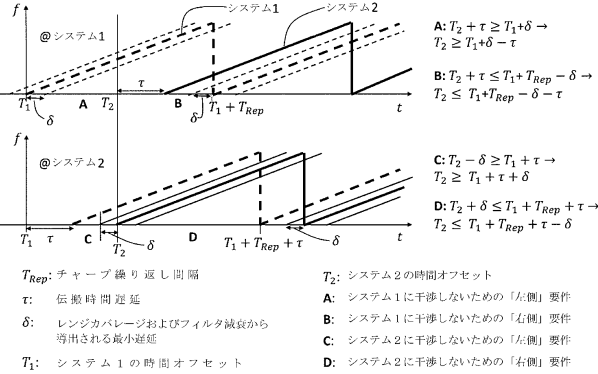
【図 8】



【図 9】



【図 10】



10

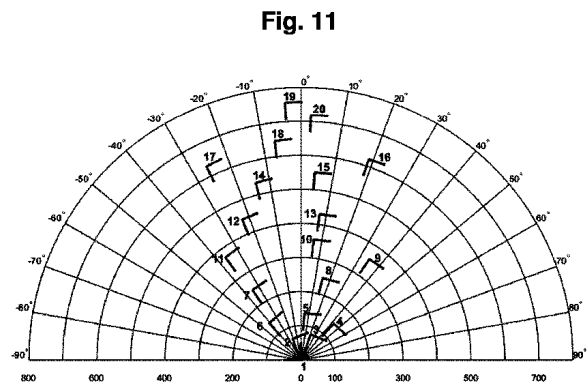
20

30

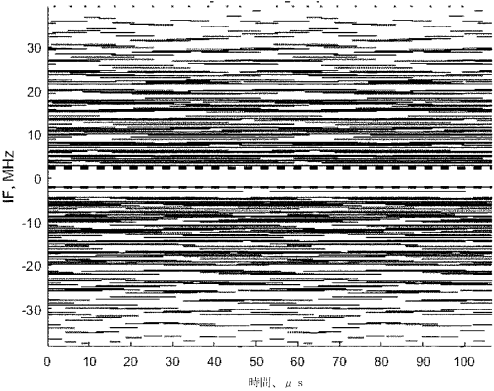
40

50

【図 1 1】

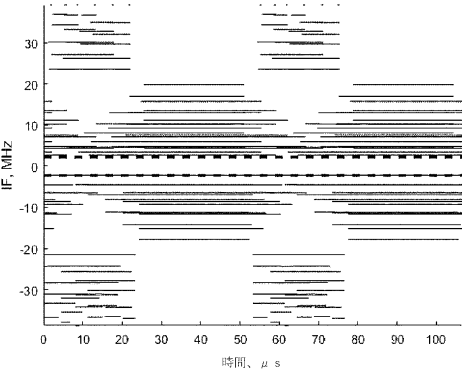


【図 1 2 a】

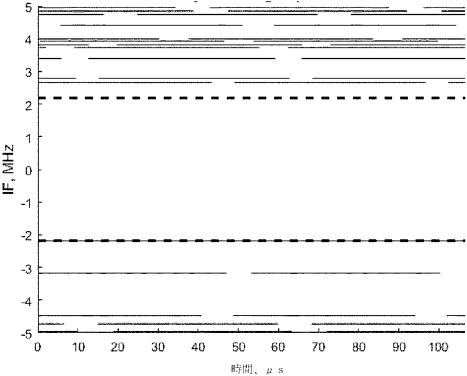


10

【図 1 2 b】



【図 1 3 a】



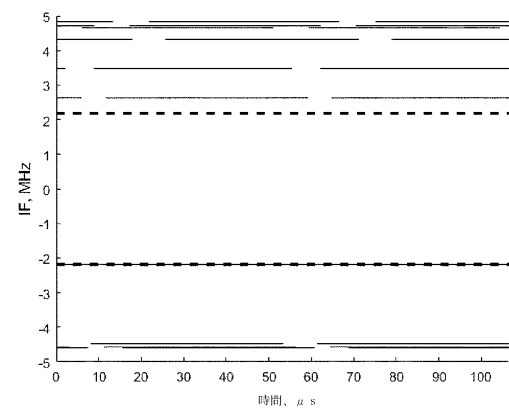
20

30

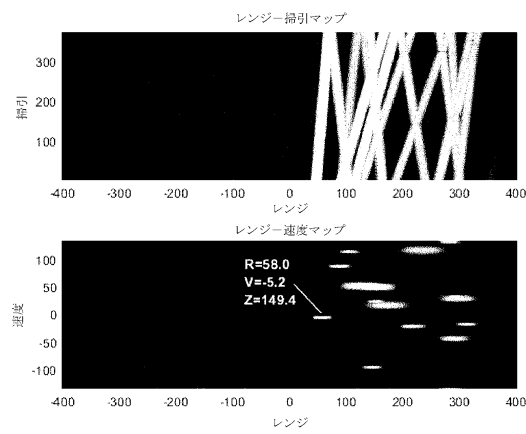
40

50

【図 13 b】

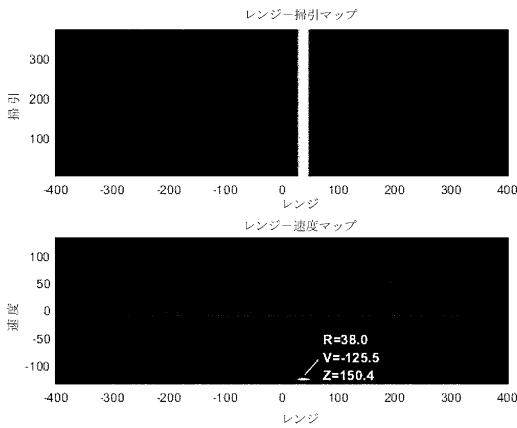


【図 14】

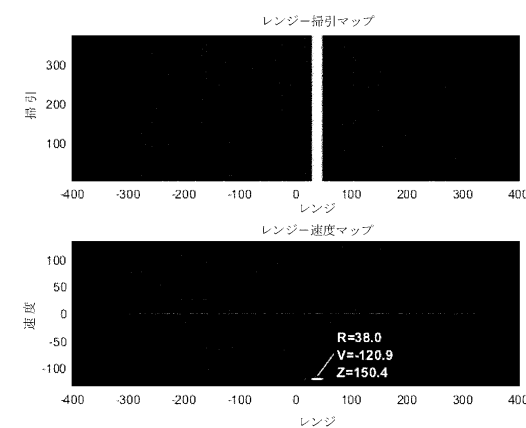


10

【図 15】



【図 16】



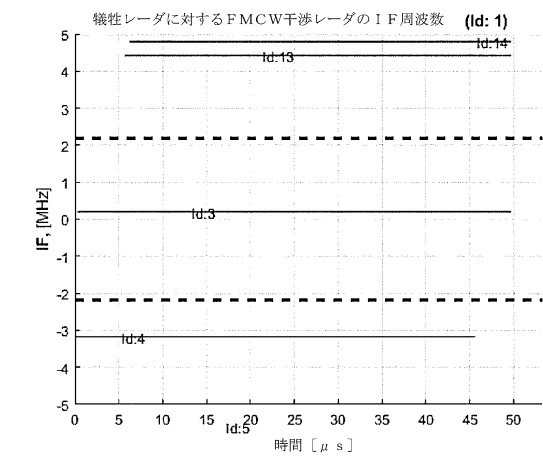
20

30

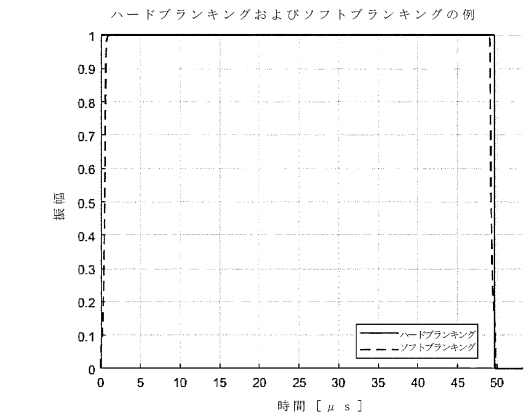
40

50

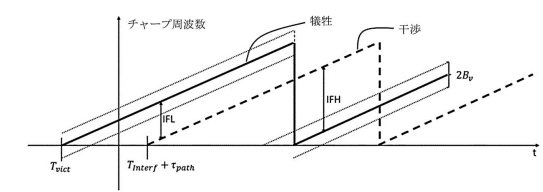
【図 17】



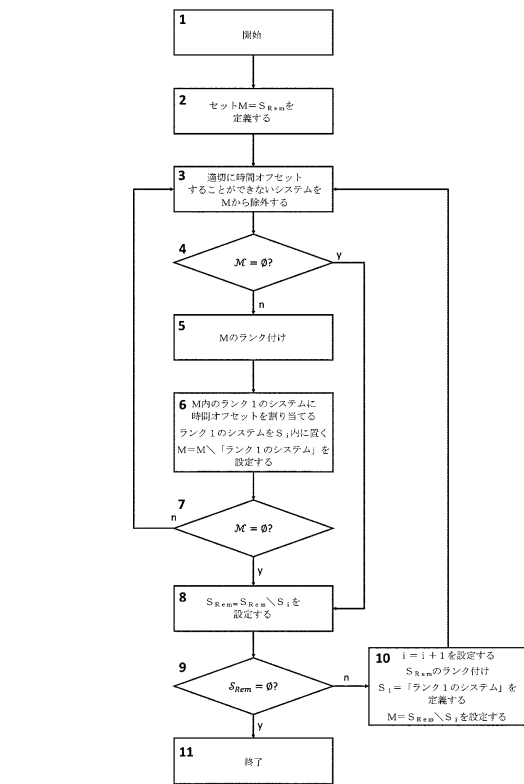
【図 18】



【図 19】



【図 20】



【手続補正書】

【提出日】令和5年12月7日(2023.12.7)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

同一場所に配置された、少なくとも3つのFMCW（周波数変調連続波）ドップラーレーダ（120）に対する低減された干渉を提供するための方法であって、前記FMCWドップラーレーダ（120）の各々は、前記FMCWドップラーレーダ（120）の各々に対して空間を移動する物体（10）のそれぞれの距離および速度を検出するためにシステム（100）において使用されるものであり、前記方法は、
レーダ間干渉を決定するために前記FMCWドップラーレーダ（120）のペア間の予想電磁波伝搬時間を決定すること（S2）であって、前記FMCWドップラーレーダ（120）に関する各レーダは、前記FMCWドップラーレーダ（120）からの少なくとも1つの他のレーダからの干渉による影響を受けることと、

決定された予想電磁波伝搬時間に基づいて、前記FMCWドップラーレーダ（120）の第1のグループ（121）内の各FMCWドップラーレーダ（120）に関して異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択すること（S4）であって、前記それぞれの掃引時間オフセットは、前記第1のグループ（121）内のFMCWドップラーレーダ（120）間で干渉のない動作を可能にするように選択されることと、

前記FMCWドップラーレーダ（120）の第2のグループ（122）に関して第2の非ゼロ掃引周波数オフセットを選択すること（S5）であって、前記第2の非ゼロ掃引周波数オフセットは、前記第1のグループ（121）に属するFMCWドップラーレーダ（120）に用いられた掃引周波数パターンに対するものであることと、
を備える、方法。

【請求項2】

前記システム（100）は、前記FMCWドップラーレーダ（120）のいくつかを用いて、前記FMCWドップラーレーダ（120）の各々が、前記選択されたそれぞれの掃引時間オフセット、および適用可能な場合は前記選択されたそれぞれの掃引周波数オフセットを用いて繰り返しFMCW掃引を放出することにより、それぞれの測定FMCWドップラーレーダ（120）に対する1つまたはいくつかの移動物体（10）のそれぞれの位置および速度を測定すること（S6）
をさらに備える、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記FMCW掃引は、それぞれの戻りランプ波形を備え、
前記戻りランプ波形はブランクにされる、
請求項2に記載の方法。

【請求項4】

前記予想電磁波伝搬時間を決定すること（S2）、前記異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択すること（S4）、および前記第2の非ゼロ掃引周波数オフセットを選択すること（S5）を繰り返すことであって、前記繰り返すことは、定期的に、および／または前記システム（100）に追加のFMCWドップラーレーダ（120）を追加する場合に行われること
をさらに備える、請求項1～3のいずれかに記載の方法。

【請求項5】

たとえば前記システム（100）の中央制御モジュール（110）からの共通受信地理位置信号または共通受信時間信号などに基づいて、前記FMCWドップラーレーダ（12

10

20

30

40

50

0) の各々のそれぞれのクロックを同期させること (S 3) であって、前記クロックは、FMCW掃引をトリガするために前記それぞれの掃引時間オフセットと組み合わせて用いられること

をさらに備える、請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の方法。

【請求項 6】

前記予想電磁波伝搬時間を決定すること (S 2) は、前記 FMCWドップラーレーダ (120) のうちの 1 つまたはいくつか、他の FMCWドップラーレーダ (120) のうちの 1 つまたはいくつかによって検出および時間調整されるそれぞれの電磁試験信号を放出することを備える、

先行する請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

10

【請求項 7】

前記予想電磁波伝搬時間を決定すること (S 2) は、各 FMCWドップラーレーダ (120) が、前記電磁試験信号を受信し、任意のマルチパス波軌道を考慮に入れて、前記電磁試験信号の最大検出伝搬時間を決定することを備え、前記受信電磁試験信号は、受信時に少なくとも所定の最小電力を有する、

請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記電磁試験信号は FMCW波である、

請求項 6 または 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記電磁試験信号は、前記他の FMCWドップラーレーダ (120) の各々によってそれぞれの電磁試験信号に用いられた搬送波周波数に対してオフセットされた搬送波周波数を有する各放出 FMCWドップラーレーダ (120) から放出される、

請求項 6 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の方法。

20

【請求項 10】

前記予想電磁波伝搬時間を決定すること (S 2) は、前記電磁試験信号を受信する各 FMCWドップラーレーダ (120) において、前記受信電磁試験信号の最大電力を測定することを備える、

請求項 6 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 11】

前記 FMCWドップラーレーダ (120) の各々によって用いられるそれぞれの掃引波形は、前記 FMCWドップラーレーダ (120) によって用いられるそれぞれの掃引時間オフセットおよび掃引周波数オフセットを除き、前記 FMCWドップラーレーダ (120) にわたって同一である、

いずれかの先行する請求項に記載の方法。

30

【請求項 12】

前記異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択すること (S 4) は、

第 1 のランク付けにおいて、FMCWドップラーレーダ (120) の第 1 のランク付けグループ内の FMCWドップラーレーダ (120) をランク付けすることであって、前記第 1 のランク付けは、前記第 1 のランク付けグループの他の FMCWドップラーレーダ (120) に対する干渉重大度に従って行われ、さらに前記予想電磁波伝搬時間に基づくことと、

40

前記第 1 のランク付けグループ内の FMCWドップラーレーダ (120) の各々について、前記 FMCWドップラーレーダ (120) のうちの最も大きな重大度で干渉するものから前記 FMCWドップラーレーダ (120) のうちの小さな重大度で干渉するものへの順に、それぞれの第 1 の掃引時間オフセットが既に選択されている、前記第 1 のランク付けグループ内の他の FMCWドップラーレーダ (120) に対して決定された、前記 FMCWドップラーレーダ (120) の最小相対掃引時間オフセットおよび伝搬時間遅延の両方を考慮に入れて、前記 FMCWドップラーレーダ (120) のそれぞれの第 1 の掃引時間オフセットを選択することと、

50

を備える、いずれかの先行する請求項に記載の方法。

【請求項 13】

前記異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択すること（S4）は、

物体（10）追跡動作中に所定の最小干渉レベルを生じさせないそれぞれの掃引時間オフセットを選択することが不可能であると決定された、前記第1のランク付けグループ内の1つまたはいくつかのFMCWドップラーレーダ（120）の第2のランク付けグループを識別することと、

第2のランク付けにおいて、前記FMCWドップラーレーダ（120）の第2のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダ（120）をランク付けすることであって、前記第2のランク付けは、前記第2のランク付けグループの他のFMCWドップラーレーダ（120）に対する干渉重大度に従って行われ、さらに前記予想電磁波伝搬時間に基づくことと、

前記第2のランク付けグループ内のFMCWドップラーレーダ（120）の各々について、前記FMCWドップラーレーダ（120）のうちの最も大きな重大度で干渉するものから前記FMCWドップラーレーダ（120）のうちの小さな重大度で干渉するものへの順に、それぞれの第2の掃引時間オフセットが既に選択されている、前記第2のランク付けグループ内の他のFMCWドップラーレーダ（120）に対して決定された、前記FMCWドップラーレーダ（120）の最小相対掃引時間オフセットおよび伝搬時間遅延の両方を考慮に入れて、前記FMCWドップラーレーダ（120）のそれぞれの第2の掃引時間オフセットを選択することと、

前記第1のランク付けグループに属するが前記第2のランク付けグループに属さない前記FMCWドップラーレーダ（120）を、前記FMCWドップラーレーダ（120）の第1のグループ（121）として選択することと、

前記第2のランク付けグループに属する1つまたはいくつかのFMCWドップラーレーダ（120）を、前記FMCWドップラーレーダ（120）の第2のグループ（122）として選択することと、

をさらに備える、請求項12に記載の方法。

【請求項 14】

前記異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択すること（S4）は、

前記FMCWドップラーレーダ（120）の別の1つからの干渉を経験している、前記FMCWドップラーレーダ（120）の1つのIF（中間周波数）の少なくとも所定の減衰を生成する最小掃引時間オフセットに基づいて最小相対掃引時間オフセットを決定すること

をさらに備える、請求項12または13に記載の方法。

【請求項 15】

前記掃引周波数オフセットは、前記第1のグループ（121）に属するFMCWドップラーレーダ（120）と前記第2のグループ（122）に属するFMCWドップラーレーダ（120）との間の干渉により、所定の速度範囲外の物体（10）速度の誤解が生じるように選択され、そのような誤解は、たとえば前記干渉による物体誤検出に対応する、いずれかの先行する請求項に記載の方法。

【請求項 16】

前記掃引周波数オフセットは、前記FMCWドップラーレーダ（120）によって用いられる掃引繰り返し周波数の0.3および0.7倍の間として選択される、請求項15に記載の方法。

【請求項 17】

前記少なくとも3つの同一場所に配置されたFMCWドップラーレーダ（120）は、協調して協働動作している、先行する請求項のいずれか1項に記載の方法。

【請求項 18】

前記方法は、

前記FMCWドップラーレーダの第2のグループ内の各FMCWドップラーレーダに関

10

20

30

40

50

して異なるそれぞれの掃引時間オフセットを選択すること
を備える、先行する請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 19】

少なくとも 3 つの同一場所に配置された FMCW（周波数変調連続波）ドップラーレーダ（120）の少なくとも 1 つに対して空間を移動する物体（10）のそれぞれの距離および速度を検出するためのシステム（100）であって、前記システム（100）は、

前記 FMCW ドップラーレーダ（120）と、
請求項 1 乃至 18 のいずれか 1 項に記載の方法を行うように構成された 1 つ以上のハードウェアプロセッサと、
を備える、システム（100）。

10

【請求項 20】

前記 1 つ以上のハードウェアプロセッサの 1 つ以上は、前記 FMCW ドップラーレーダ（120）の 1 つ以上内に位置する、
請求項 19 に記載のシステム（100）。

【請求項 21】

前記システム（100）は、中央制御モジュール（110）を備え、
前記 1 つ以上のハードウェアプロセッサのうちの 1 つ以上は、前記中央制御モジュール（110）内に位置する、
請求項 19 または 20 に記載のシステム（100）。

20

【請求項 22】

中央制御モジュールおよび／または分散型 FMCW ドップラーレーダ（120）デバイスのセットのコンピュータハードウェアで実行すると、少なくとも 3 つの同一場所に配置された FMCW（周波数変調連続波）ドップラーレーダ（120）の少なくとも 1 つに対して空間を移動する物体（10）のそれぞれの距離および速度を検出するように構成されたコンピュータソフトウェア製品であって、前記コンピュータソフトウェア製品は、請求項 1 乃至 18 のいずれか 1 項に記載の方法を行うことによって、前記 FMCW ドップラーレーダ（120）の各々に対する低減された干渉を提供するように構成された制御機能を備える、コンピュータソフトウェア製品。

30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2023/053732

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
INV.	G01S7/02	G01S7/40
	G01S13/22	G01S13/58
ADD.	G01S13/72	G01S13/42
		G01S7/35
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01S		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KEOURY JOUD ET AL: "RadarMAC: Mitigating Radar Interference in Self-Driving Cars", 2016 13TH ANNUAL IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SENSING, COMMUNICATION, AND NETWORKING (SECON), IEEE, 27 June 2016 (2016-06-27), pages 1-9, XP032994027, DOI: 10.1109/SAHCN.2016.7733011 [retrieved on 2016-11-02] Sections I-IV.; figures 1-5	1-20
X	US 2021/389416 A1 (HONG LANG [US] ET AL) 16 December 2021 (2021-12-16) paragraphs [0039] - [0046], [0064] - [0086]; figures 1,3A-5B	1-20
	----- --/--	
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date		"X" document of particular relevance;; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)		"Y" document of particular relevance;; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search 22 March 2023		Date of mailing of the international search report 30/03/2023
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Fernández Cuenca, B

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2023/053732

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	ALLAND STEPHEN ET AL: "Interference in Automotive Radar Systems: Characteristics, mitigation techniques, and current and future research", IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE, IEEE, USA, vol. 36, no. 5, 1 September 2019 (2019-09-01), pages 45-59, XP011745494, ISSN: 1053-5888, DOI: 10.1109/MSP.2019.2908214 [retrieved on 2019-09-09] Section "Frequency-modulated continuous wave"; page 47 page 48 - page 54 -----	1-20

1

10

20

30

40

50

International application No

PCT/EP2023/053732

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2021389416 A1	16-12-2021	US 2021389416 A1	16-12-2021
		US 2022163621 A1	26-05-2022
		WO 2022026033 A1	03-02-2022

40

フロントページの続き

,MC,ME,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,
ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,C
O,CR,CU,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,I
R,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX
,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,
SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 エリクソン, ジョニー

スウェーデン国, 4 4 3 7 4 シェーヴィク, クヴァルンヴェーゲン 2 2

(72)発明者 アンダーソン, クリスター

スウェーデン国, 4 1 5 7 2 ヨーテボリ, オデンスヴァレーゲン 3

F ターム (参考) 5J070 AB18 AB19 AC02 AC06 AC11 AD02 AE20 AF01 AH35 AH40
AK06 AK07 BA01 BD01