



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0150785
(43) 공개일자 2024년10월16일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 7/02 (2006.01) A63B 69/36 (2006.01)
G01S 13/22 (2006.01) G01S 13/34 (2006.01)
G01S 13/42 (2006.01) G01S 13/58 (2006.01)
G01S 13/72 (2006.01) G01S 13/87 (2006.01)
G01S 7/35 (2006.01) G01S 7/40 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G01S 7/0235 (2022.08)
G01S 13/22 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-7030569
(22) 출원일자(국제) 2023년02월15일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2024년09월11일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2023/053732
(87) 국제공개번호 WO 2023/156442
국제공개일자 2023년08월24일
- (30) 우선권주장
2230046-1 2022년02월17일 스웨덴(SE)
- (71) 출원인
탐골프 스웨덴 에이비
스웨덴 182 33 단데뤼드 스바르드바겐 3에이
- (72) 발명자
에릭슨, 조니
스웨덴 44374 세비크 크반베건 22
앤더슨, 크리스터
스웨덴 41572 예테보리 오펜스베일베건 3
- (74) 대리인
양영준, 이민호, 백만기

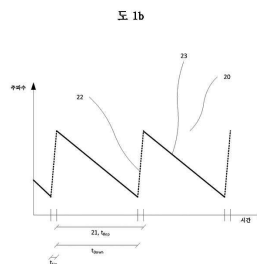
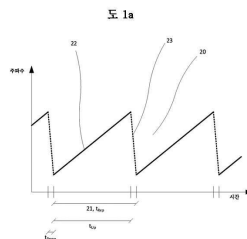
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 도플러 레이더 공존

(57) 요약

적어도 2개의 공동 배치된 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 도플러 레이더에 대한 감소된 간섭을 제공하기 위한 방법 - 상기 레이더들 각각은 시스템에서 공간을 이동하는 물체들까지의 각자의 거리들 및 그 물체들의 각자의 속도들을 검출하는 데 사용됨 - 은 레이더들의 쌍들 사이의 예상된 전자기파 전파 시간들이 결정되는, 전파 결정 단계; 제1 레이더 그룹 내의 각각의 레이더에 대해 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들이 선택되는, 스위프 시간 오프셋 동기화 단계; 및 제2 레이더 그룹에 대해 제2 스위프 주파수 오프셋이 선택되는, 스위프 주파수 오프셋 동기화 단계 - 제2 스위프 주파수 오프셋은 상기 제1 그룹에 속하는 레이더들에 사용되는 스위프 주파수 패턴을 기준으로 함 - 를 포함할 수 있다. 본 발명은 또한 시스템 및 컴퓨터 소프트웨어 제품에 관한 것이다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01S 13/343 (2013.01)
G01S 13/42 (2013.01)
G01S 13/583 (2013.01)
G01S 13/584 (2013.01)
G01S 13/72 (2013.01)
G01S 13/878 (2013.01)
G01S 7/0232 (2022.08)
G01S 7/354 (2013.01)
G01S 7/4056 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

적어도 2개의 공동 배치된 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 도플러 레이더(120)에 대한 감소된 간섭을 제공하기 위한 방법으로서, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각은 시스템(100)에서 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각을 기준으로 공간을 이동하는 물체들(10)까지의 각자의 거리들 및 상기 물체들(10)의 각자의 속도들을 검출하는 데 사용되고, 상기 방법은

상기 FMCW 도플러 레이더들(120)의 쌍들 사이의 예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하는 단계(S2);

상기 FMCW 도플러 레이더들(120)의 제1 그룹(121)에 있는 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)에 대해 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들을 선택하는 단계(S4); 및

상기 FMCW 도플러 레이더들(120)의 제2 그룹(122)에 대해 제2 0이 아닌 스위프 주파수 오프셋을 선택하는 단계(S5) - 상기 제2 스위프 주파수 오프셋은 상기 제1 그룹(121)에 속하는 FMCW 도플러 레이더들(120)에 사용된 스위프 주파수 패턴을 기준으로 함 -

를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 시스템(100)이 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 여러 개를 사용하여, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각이 상기 선택된 각자의 스위프 시간 오프셋 및, 적용 가능한 경우에, 상기 선택된 각자의 스위프 주파수 오프셋을 사용하여 FMCW 스위프들을 반복적으로 방출하는 것에 의해, 각자의 측정하는 FMCW 도플러 레이더(120)를 기준으로, 하나 또는 여러 개의 이동 물체(10)의 각자의 위치 및 속도를 측정하는 단계(S6)를 더 포함하는, 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 FMCW 스위프들은 각자의 복귀 램프 파형들을 포함하며,

상기 복귀 램프 파형들은 블랭킹되는, 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하는 단계(S2); 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들을 선택하는 단계(S4); 및 제2 0이 아닌 스위프 주파수 오프셋을 선택하는 단계(S5)를 반복하는 단계 - 상기 반복은 주기적으로 및/또는 상기 시스템(100)에 추가적인 FMCW 도플러 레이더(120)를 추가할 때 수행됨 - 를 더 포함하는, 방법.

청구항 5

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

예컨대 상기 시스템(100)의 중앙 제어 모듈(110)로부터 공통 수신된 지오로케이션 신호 또는 공통 수신된 시간 신호에 기초하여, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각의 각자의 클럭을 동기화하는 단계(S3) - 상기 클럭은 이어서 상기 각자의 스위프 시간 오프셋과 함께 사용되어 FMCW 스위프를 트리거함 - 를 더 포함하는, 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하는 단계(S2)는 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 하나 또는 여러 개가 각자의 전자기 테스트 신호를 방출하는 단계 - 상기 전자기 테스트 신호는 다른 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 하나 또는 여러 개에 의해 검출되고 타이밍됨(timed) - 를 포함하는, 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하는 단계(S2)는 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)가 상기 전자기 테스트 신호를 수신하고, 임의의 다중 경로 파 궤적들을 고려하여, 상기 전자기 테스트 신호의 최대 검출된 전파 시간을 결정하는 단계 - 상기 수신된 전자기 테스트 신호는 수신 시에 적어도 미리 결정된 최소 전력을 가짐 - 를 포함하는, 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 전자기 테스트 신호는 FMCW 파인, 방법.

청구항 9

제6항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전자기 테스트 신호는 다른 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각에 의해 각자의 전자기 테스트 신호들에 사용되는 캐리어 주파수를 기준으로 오프셋되어 있는 캐리어 주파수를 가지는 각각의 방출하는 FMCW 도플러 레이더(120)로부터 방출되는, 방법.

청구항 10

제6항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하는 단계(S2)는, 상기 전자기 테스트 신호를 수신하는 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)에서, 상기 수신된 전자기 테스트 신호의 최대 전력을 측정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 11

제1항 내지 제3항 및 제6항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각에 의해 사용되는 각자의 스위프 파형은, 상기 FMCW 도플러 레이더(120)에 의해 사용되는 각자의 스위프 시간 오프셋 및 스위프 주파수 오프셋을 제외하고는, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120)에 걸쳐 동일한, 방법.

청구항 12

제1항 내지 제3항 및 제6항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들을 선택하는 단계(S4)는,

제1 순위 부여(ranking)에서, FMCW 도플러 레이더들(120)의 제1 순위 부여 그룹 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)에 순위를 부여하는 단계 - 상기 제1 순위 부여는 상기 제1 순위 부여 그룹의 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대한 간섭 심각도에 따라 수행되고, 상기 제1 순위 부여는 추가로 상기 예상된 전자기파 전파 시간들에 기초함 -; 및

상기 제1 순위 부여 그룹 내의 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각에 대해, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 가장 심각하게 간섭하는 것부터 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 덜 심각하게 간섭하는 것들로의 순서로, 각자의 제1 스위프 시간 오프셋이 이미 선택된 상기 제1 순위 부여 그룹 내의 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)을 기준으로 상기 FMCW 도플러 레이더(120)의 결정된 최소 상대 스위프 시간 오프셋 및 전파 시간 지연 둘 모두를 고려하여, 상기 FMCW 도플러 레이더(120)에 대한 각자의 제1 스위프 시간 오프셋을 선택하는 단계

를 포함하는, 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들을 선택하는 단계(S4)는

상기 제1 순위 부여 그룹에서 물체(10) 추적 동작 동안 미리 결정된 최소 간섭 레벨을 초래하지 않는 각자의 스위프 시간 오프셋을 선택하는 것이 가능하지 않은 것으로 결정되는 하나 또는 여러 개의 FMCW 도플러 레이더(120)의 제2 순위 부여 그룹을 식별하는 단계;

제2 순위 부여에서, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120)의 제2 순위 부여 그룹 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)에 순위를 부여하는 단계 - 상기 제2 순위 부여는 상기 제2 순위 부여 그룹의 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대한 간섭 심각도에 따라 수행되고, 상기 제2 순위 부여는 추가로 상기 예상된 전자기파 전파 시간들에 기초함 -;

상기 제2 순위 부여 그룹 내의 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각에 대해, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 가장 심각하게 간섭하는 것부터 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 덜 심각하게 간섭하는 것들로의 순서로, 각자의 제2 스위프 시간 오프셋이 이미 선택된 상기 제2 순위 부여 그룹 내의 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)을 기준으로 상기 FMCW 도플러 레이더(120)의 상기 결정된 최소 상대 스위프 시간 오프셋 및 전파 시간 지연 둘 모두를 고려하여, 상기 FMCW 도플러 레이더(120)에 대한 각자의 제2 스위프 시간 오프셋을 선택하는 단계;

상기 제1 순위 부여 그룹에는 속하지만 상기 제2 순위 부여 그룹에는 속하지 않는 FMCW 도플러 레이더들(120)을 FMCW 도플러 레이더들(120)의 제1 그룹(121)으로 선택하는 단계; 및

상기 제2 순위 부여 그룹에 속하는 하나 또는 여러 개의 FMCW 도플러 레이더(120)를 FMCW 도플러 레이더들(120)의 제2 그룹(122)으로 선택하는 단계

를 더 포함하는, 방법.

청구항 14

제12항에 있어서, 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들을 선택하는 단계(S4)는

상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 다른 하나로부터의 간섭을 경험하는 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 하나의 IF(Intermediate Frequency)의 적어도 미리 결정된 감쇠를 생성하는 최소 스위프 시간 오프셋에 기초하여 상기 최소 상대 스위프 시간 오프셋을 결정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 15

제1항 내지 제3항 및 제6항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 스위프 주파수 오프셋은 상기 제1 그룹(121)에 속하는 FMCW 도플러 레이더들(120)과 상기 제2 그룹(122)에 속하는 FMCW 도플러 레이더들(120) 간의 간섭이 미리 결정된 속도 범위를 벗어나는 물체(10) 속도 오관독들을 초래하도록 선택되며, 이러한 오관독들은 상기 간섭으로 인한 잘못된 물체 검출에 대응하는, 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 스위프 주파수 오프셋은 상기 FMCW 도플러 레이더들(120)에 의해 사용되는 스위프 반복 주파수의 0.3배 내지 0.7배로 선택되는, 방법.

청구항 17

적어도 2개의 공동 배치된 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 도플러 레이더(120) 중 적어도 하나를 기준으로 공간을 이동하는 물체들(10)까지의 각자의 거리들 및 상기 물체들(10)의 각자의 속도들을 검출하기 위한 시스템(100)으로서,

상기 FMCW 도플러 레이더들(120);

하나 이상의 하드웨어 프로세서

를 포함하며, 상기 하드웨어 프로세서들은

상기 FMCW 도플러 레이더들(120)의 쌍들 사이의 예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하고(S2);

상기 FMCW 도플러 레이더들(120)의 제1 그룹(121)에 있는 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)에 대해 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들을 선택하며(S4);

상기 FMCW 도플러 레이더들(120)의 제2 그룹(122)에 대해 제2 0이 아닌 스위프 주파수 오프셋을 선택하도록(S5) - 상기 제2 스위프 주파수 오프셋은 상기 제1 그룹(121)에 속하는 FMCW 도플러 레이더들(120)에 사용된 스위프 주파수 패턴을 기준으로 함 -

구성되는, 시스템(100).

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 하나 이상의 하드웨어 프로세서 중 하나 이상은 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 하나 이상에 위치하는, 시스템(100).

청구항 19

제17항 또는 제18항에 있어서,

상기 시스템(100)은 중앙 제어 모듈(110)을 포함하며,

상기 하나 이상의 하드웨어 프로세서 중 하나 이상은 상기 중앙 제어 모듈(110)에 위치하는, 시스템(100).

청구항 20

중앙 제어 모듈 및/또는 분산 FMCW 도플러 레이더(120) 디바이스 세트의 컴퓨터 하드웨어에서 실행될 때, 적어도 2개의 공동 배치된 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 도플러 레이더(120) 중 적어도 하나를 기준으로 공간을 이동하는 물체들(10)까지의 각각의 거리들 및 상기 물체들(10)의 각각의 속도들을 검출하도록 배열된 컴퓨터 소프트웨어 제품으로서, 상기 컴퓨터 소프트웨어 제품은

상기 FMCW 도플러 레이더들(120)의 쌍들 사이의 예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하는 것(S2);

상기 FMCW 도플러 레이더들(120)의 제1 그룹(121)에 있는 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)에 대해 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들을 선택하는 것(S4); 및

상기 FMCW 도플러 레이더들(120)의 제2 그룹(122)에 대해 제2 0이 아닌 스위프 주파수 오프셋을 선택하는 것(S5) - 상기 제2 스위프 주파수 오프셋은 상기 제1 그룹(121)에 속하는 FMCW 도플러 레이더들(120)에 사용된 스위프 주파수 패턴을 기준으로 함 -

에 의해 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각에 대한 감소된 간섭을 제공하도록 차례로 배열된 제어 기능을 포함하는, 컴퓨터 소프트웨어 제품.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 여러 개의 공동 배치된(co-located) 도플러 레이더들에 대한 감소된 간섭을 제공하기 위한 방법에 관한 것이다. 상세하게는, 해당 도플러 레이더는 이동 물체, 예를 들어, 골프공과 같은 스포츠 발사체의 궤적을 자동으로 추적하기 위해 제공된 것과 같은, FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 레이더일 수 있다. 본 발명은 또한 이러한 방법을 수행하기 위한 시스템 및 이러한 방법을 수행하도록 배열된(arranged) 컴퓨터 소프트웨어 제품에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

FMCW 도플러 레이더를 사용하여 해당 레이더를 기준으로 이러한 물체가 공간을 이동할 때 그 물체를 자동으로 추적하는 것이 알려져 있다. FMCW 도플러 레이더를 사용하여, 레이더를 기준으로 해당 이동 물체까지의 거리(distance)(해당 기술 분야에서 때때로 "레인지(range)"라고 함)는 물론 해당 이동 물체의 (반경방향) 속도도 측정할 수 있다. 일반적으로, 이러한 레이더는 또한 추적 레이더를 기준으로, 해당 물체로의 방향을 측정할 수 있다.

발명의 내용

- [0003] 많은 경우, 여러 개의 FMCW 도플러 레이더들이 정의된 공간을 모니터링하기 위해 한 지역에 걸쳐 분산되어 있다. 이를 달성하기 위해, 이러한 FMCW 도플러 레이더들이 하나의 위치 및 가까운 위치들에서 필요할 수 있으며, 환언하면, 추적되는(tracked) 물체들에 대한 연결된 공간을 모니터링하기 위해 협업해야 한다. 예를 들어, 골프 연습장에서 이런 일이 일어날 수 있다. 이런 경우에, 이러한 공동 배치된 FMCW 도플러 레이더들 사이의 간섭이라는 문제가 있다. 환언하면, 하나의 그러한 레이더로부터 방출되는 전자기파는, 직접 또는 반사를 통해, 하나 또는 여러 개의 다른 공동 배치된 레이더에 의해 수신될 것이다. 그러면, 그러한 수신된 신호가 추적되는 물체에서 나온 것으로 잘못 해석되거나 다른 간섭을 초래할 위험이 있다. 예를 들어, 간섭은 감도를 저하시켜 관심 대상인 중요한 약한 타깃 신호가 검출될 수 없도록 할 수 있다.
- [0004] 레이더 장비의 간섭 문제를 해결하는 알려진 방식들은 시간 및 주파수 다중화를 포함한다. 그렇지만, 시간 다중화는 일반적으로 측정 세분성과 정밀도를 감소시키고, 이용 가능한 주파수 대역폭이 종종 제한된다. 상세하게는, 예를 들어 골프 연습장에서는, 상대적으로 간단하고 동일한 레이더 디바이스 세트를 사용할 수 있는 것이 종종 선호된다.
- [0005] 해양 파도 모니터링에 관련된 US 6,856,276 B2는 여러 개의 공존하는 레이더들을 사용하는 FMCW 레이더 시스템을 설명하는데, 여기서 개별 레이더들에 의해 방출되는 처프들(chirps)(주파수 스위프들)에 상대적 시간 지연을 도입하는 것에 의해 간섭 문제가 해결된다.
- [0006] 본 발명은 위에서 설명된 문제들 중 하나 이상, 또는 전부를 해결할 수 있다.
- [0007] 따라서, 본 발명은 적어도 2개의 공동 배치된 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 도플러 레이더에 대한 감소된 간섭을 제공하기 위한 방법에 관한 것이며, 상기 FMCW 도플러 레이더들 각각은 시스템에서 상기 각각의 FMCW 도플러 레이더를 기준으로 공간을 이동하는 물체들까지의 각각의 거리들 및 그 물체들의 각각의 속도들을 검출하는 데 사용되고, 상기 방법은 상기 FMCW 도플러 레이더들의 쌍들 사이의 예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하는 단계; 상기 FMCW 도플러 레이더들의 제1 그룹에 있는 각각의 FMCW 도플러 레이더에 대해 상이한 각각의 스위프 시간 오프셋들을 선택하는 단계; 및 상기 FMCW 도플러 레이더들의 제2 그룹에 대해 제2 0이 아닌 스위프 주파수 오프셋을 선택하는 단계 - 상기 제2 스위프 주파수 오프셋은 상기 제1 그룹에 속하는 FMCW 도플러 레이더들에 사용된 스위프 주파수 패턴을 기준으로 함 - 를 포함한다.
- [0008] 일부 실시예들에서, 상기 방법은 상기 시스템이 상기 FMCW 도플러 레이더들 중 여러 개를 사용하여, 상기 FMCW 도플러 레이더들 각각이 상기 선택된 각각의 스위프 시간 오프셋 및, 적용 가능한 경우에, 상기 선택된 각각의 스위프 주파수 오프셋을 사용하여 FMCW 스위프들을 반복적으로 방출하는 것에 의해, 각각의 측정하는 FMCW 레이더를 기준으로, 하나 또는 여러 개의 이동 물체의 각각의 위치 및 속도를 측정하는 단계를 더 포함한다.
- [0009] 일부 실시예들에서, 상기 FMCW 스위프들은 각각의 복귀 램프 파형들을 포함하고, 상기 복귀 램프 파형들은 블랭킹된다(blanked).
- [0010] 일부 실시예들에서, 상기 방법은 예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하는 단계; 상이한 각각의 스위프 시간 오프셋들을 선택하는 단계; 및 제2 0이 아닌 스위프 주파수 오프셋을 선택하는 단계를 반복하는 단계 - 상기 반복은 주기적으로 및/또는 상기 시스템에 추가적인 FMCW 도플러 레이더를 추가할 때 수행됨 - 를 더 포함한다.
- [0011] 일부 실시예들에서, 상기 방법은, 예컨대 상기 시스템의 중앙 제어 모듈로부터 공통 수신된 지오로케이션 신호 또는 공통 수신된 시간 신호에 기초하여, 상기 FMCW 도플러 레이더들 각각의 각각의 클록을 동기화하는 단계 - 상기 클록은 이어서 상기 각각의 스위프 시간 오프셋과 함께 사용되어 FMCW 스위프를 트리거함 - 를 더 포함한다.
- [0012] 일부 실시예들에서, 예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하는 단계는 상기 FMCW 도플러 레이더들 중 하나 또는 여러 개가 각각의 전자기 테스트 신호를 방출하는 단계 - 상기 전자기 테스트 신호는 다른 FMCW 도플러 레이더들 중 하나 또는 여러 개에 의해 검출되고 타이밍됨 - 를 포함한다.
- [0013] 일부 실시예들에서, 예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하는 단계는 각각의 FMCW 도플러 레이더가 상기 전자기 테스트 신호를 수신하고, 임의의 다중 경로 파 궤적들을 고려하여, 상기 전자기 테스트 신호의 최대 검출된 전파 시간을 결정하는 단계 - 상기 수신된 전자기 테스트 신호는 수신 시에 적어도 미리 결정된 최소 전력을 가짐 - 를 포함한다.

- [0014] 일부 실시예들에서, 상기 전자기 테스트 신호는 FMCW 파이다.
- [0015] 일부 실시예들에서, 상기 전자기 테스트 신호는 다른 FMCW 도플러 레이더들 각각에 의해 각자의 전자기 테스트 신호들에 사용되는 캐리어 주파수를 기준으로 오프셋되어 있는 캐리어 주파수를 가지는 각각의 방출하는 FMCW 도플러 레이더로부터 방출된다.
- [0016] 일부 실시예들에서, 예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하는 단계는, 상기 전자기 테스트 신호를 수신하는 각각의 FMCW 도플러 레이더에서, 상기 수신된 전자기 테스트 신호의 최대 전력을 측정하는 단계를 포함한다.
- [0017] 일부 실시예들에서, 상기 FMCW 도플러 레이더들 각각에 의해 사용되는 각자의 스위프 파형은, 상기 FMCW 도플러 레이더에 의해 사용되는 각자의 스위프 시간 오프셋 및 스위프 주파수 오프셋을 제외하고는, 상기 FMCW 도플러 레이더들에 걸쳐 동일하다.
- [0018] 일부 실시예들에서, 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들을 선택하는 단계는, 제1 순위 부여에서, FMCW 도플러 레이더들의 제1 순위 부여 그룹 내의 FMCW 도플러 레이더들에 순위를 부여하는 단계 - 상기 제1 순위 부여는 상기 제1 순위 부여 그룹의 다른 FMCW 도플러 레이더들에 대한 간섭 심각도에 따라 수행되고, 상기 제1 순위 부여는 추가로 상기 예상된 전자기파 전파 시간들에 기초함 -; 및 상기 제1 순위 부여 그룹 내의 상기 FMCW 도플러 레이더들 각각에 대해, 상기 FMCW 도플러 레이더들 중 가장 심각하게 간섭하는 것부터 상기 FMCW 도플러 레이더들 중 덜 심각하게 간섭하는 것들로의 순서로, 각자의 제1 스위프 시간 오프셋이 이미 선택된 상기 제1 순위 부여 그룹 내의 다른 FMCW 도플러 레이더들을 기준으로 상기 FMCW 도플러 레이더의 결정된 최소 상대 스위프 시간 오프셋 및 전파 시간 지연 둘 모두를 고려하여, 상기 FMCW 도플러 레이더에 대한 각자의 제1 스위프 시간 오프셋을 선택하는 단계를 포함한다.
- [0019] 일부 실시예들에서, 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들을 선택하는 단계는 상기 제1 순위 부여 그룹에서 물체 추적 동작 동안 미리 결정된 최소 간섭 레벨을 초래하지 않는 각자의 스위프 시간 오프셋을 선택하는 것이 가능하지 않은 것으로 결정되는 하나 또는 여러 개의 FMCW 도플러 레이더의 제2 순위 부여 그룹을 식별하는 단계; 제2 순위 부여에서, 상기 FMCW 도플러 레이더들의 제2 순위 부여 그룹 내의 FMCW 도플러 레이더들에 순위를 부여하는 단계 - 상기 제2 순위 부여는 상기 제2 순위 부여 그룹의 다른 FMCW 도플러 레이더들에 대한 간섭 심각도에 따라 수행되고, 상기 제2 순위 부여는 추가로 상기 예상된 전자기파 전파 시간들에 기초함 -; 상기 제2 순위 부여 그룹 내의 상기 FMCW 도플러 레이더들 각각에 대해, 상기 FMCW 도플러 레이더들 중 가장 심각하게 간섭하는 것부터 상기 FMCW 도플러 레이더들 중 덜 심각하게 간섭하는 것들로의 순서로, 각자의 제2 스위프 시간 오프셋이 이미 선택된 상기 제2 순위 부여 그룹 내의 다른 FMCW 도플러 레이더들을 기준으로 상기 FMCW 도플러 레이더의 상기 결정된 최소 상대 스위프 시간 오프셋 및 전파 시간 지연 둘 모두를 고려하여, 상기 FMCW 도플러 레이더에 대한 각자의 제2 스위프 시간 오프셋을 선택하는 단계; 상기 제1 순위 부여 그룹에는 속하지만 상기 제2 순위 부여 그룹에는 속하지 않는 FMCW 도플러 레이더들을 FMCW 도플러 레이더들의 제1 그룹으로 선택하는 단계; 및 상기 제2 순위 부여 그룹에 속하는 하나 또는 여러 개의 FMCW 도플러 레이더를 FMCW 도플러 레이더들의 제2 그룹으로 선택하는 단계를 더 포함한다.
- [0020] 일부 실시예들에서, 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들을 선택하는 단계는 상기 FMCW 도플러 레이더들 중 다른 하나로부터의 간섭을 경험하는 상기 FMCW 도플러 레이더들 중 하나의 IF(Intermediate Frequency)의 적어도 미리 결정된 감쇠를 생성하는 최소 스위프 시간 오프셋에 기초하여 상기 최소 상대 스위프 시간 오프셋을 결정하는 단계를 더 포함한다.
- [0021] 일부 실시예들에서, 상기 스위프 주파수 오프셋은 상기 제1 그룹에 속하는 FMCW 도플러 레이더들과 상기 제2 그룹에 속하는 FMCW 도플러 레이더들 간의 간섭이 미리 결정된 속도 범위를 벗어나는 물체 속도 오판독들을 초래하도록 선택되며, 이러한 오판독들은 상기 간섭으로 인한 잘못된 물체 검출에 대응한다.
- [0022] 일부 실시예들에서, 상기 스위프 주파수 오프셋은 상기 FMCW 도플러 레이더들에 의해 사용되는 스위프 반복 주파수의 0.3배 내지 0.7배로 선택된다.
- [0023] 게다가, 본 발명은 적어도 2개의 공동 배치된 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 도플러 레이더 중 적어도 하나를 기준으로 공간을 이동하는 물체들까지의 각자의 거리들 및 그 물체들의 각자의 속도들을 검출하기 위한 시스템에 관한 것이며, 상기 시스템은 상기 FMCW 도플러 레이더들; 하나 이상의 하드웨어 프로세서를 포함하며, 상기 하드웨어 프로세서들은 상기 FMCW 도플러 레이더들의 쌍들 사이의 예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하고; 상기 FMCW 도플러 레이더들의 제1 그룹에 있는 각각의 FMCW 도플러 레이더에 대해 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들을 선택하며; 상기 FMCW 도플러 레이더들의 제2 그룹에 대해 제2 0이 아닌 스위프 주파수

오프셋을 선택하도록 - 상기 제2 스위프 주파수 오프셋은 상기 제1 그룹에 속하는 FMCW 도플러 레이더들에 사용된 스위프 주파수 패턴을 기준으로 함 - 구성된다.

[0024] 일부 실시예들에서, 상기 하나 이상의 하드웨어 프로세서 중 하나 이상은 상기 FMCW 도플러 레이더들 중 하나 이상에 위치한다.

[0025] 일부 실시예들에서, 상기 시스템은 중앙 제어 모듈을 포함하며, 상기 하나 이상의 하드웨어 프로세서 중 하나 이상은 상기 중앙 제어 모듈에 위치한다.

[0026] 더욱이, 본 발명은, 중앙 제어 모듈 및/또는 분산 FMCW 도플러 레이더 디바이스 세트의 컴퓨터 하드웨어에서 실행될 때, 적어도 2개의 공동 배치된 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 도플러 레이더 중 적어도 하나를 기준으로 공간을 이동하는 물체들까지의 각자의 거리들 및 그 물체들의 각자의 속도들을 검출하도록 배열된 컴퓨터 소프트웨어 제품에 관한 것이며, 상기 컴퓨터 소프트웨어 제품은 상기 FMCW 도플러 레이더들의 쌍들 사이의 예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하는 것; 상기 FMCW 도플러 레이더들의 제1 그룹에 있는 각각의 FMCW 도플러 레이더에 대해 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들을 선택하는 것; 및 상기 FMCW 도플러 레이더들의 제2 그룹에 대해 제2 0이 아닌 스위프 주파수 오프셋을 선택하는 것 - 상기 제2 스위프 주파수 오프셋은 상기 제1 그룹에 속하는 FMCW 도플러 레이더들에 사용된 스위프 주파수 패턴을 기준으로 함 - 에 의해 상기 FMCW 도플러 레이더들 각각에 대한 감소된 간섭을 제공하도록 차례로 배열된 제어 기능을 포함한다.

[0027] 상기 컴퓨터 소프트웨어 제품은 시스템 내의 FMCW 도플러 레이더들 중 적어도 하나 및/또는 시스템의 중앙 제어 모듈에 위치하는 하나 이상의 하드웨어 프로세서로 하여금 예상된 전자기파 전파 시간들을 결정하는 것, 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들을 선택하는 것, 및 제2 0이 아닌 스위프 주파수 오프셋을 선택하는 것을 수행하게 하는 명령어들을 인코딩하는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체에 의해 구현될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 이하에서, 본 발명의 예시적인 실시예들 및 첨부 도면을 참조하여 본 발명이 상세히 설명될 것이다.

도 1a 내지 도 1c는 각각이 주파수 스위프 또는 처프를 보여주는 각자의 단순화된 차트들이다.

도 2는 FMCW 도플러 레이더의 개요도이다.

도 3은 타겟 레이더에 대한 믹싱 후의 신호를 보여주는 차트이다.

도 4는 푸리에 변환을 통해 레인지-압축된(range-compressed) 신호를 보여주는 차트이다.

도 5는 일치하는 파형을 갖는 간섭하는 레이더로 인한 피해자 레이더 수신기 출력에서의 응답을 보여주는 차트(상부 부분); 대응하는 레인지-스위프 행렬(중간 부분); 및 대응하는 레인지-속도 행렬(하부 부분)이다.

도 6은 도 5에 대응하지만, 레이더들 간에 파형이 일치하지 않는 경우를 보여준다.

도 7은 중앙 제어 모듈과 여러 개의 그룹들로 배열된 복수의 FMCW 도플러 레이더들을 포함하는, 본 발명의 하나 이상의 실시예에 따른 시스템의 개요이다.

도 8은 데이터 처리 장치의 단순화된 예시이다.

도 9는 방법을 예시하는 플로차트이다.

도 10은 2개의 상이한 레이더에 대한 주파수 스위프들을 보여주는 단순화된 차트이다.

도 11은 다수의 공동 배치된 FMCW 도플러 레이더들의 레이아웃 평면도(top layout view)이다.

도 12a 및 도 12b는, 제각기, 도 11에 도시된 복수의 FMCW 도플러 레이더들의 제1 및 제2 식별된 그룹에 대한 시간에 따른 IF(Intermediate Frequencies)의 각자의 플롯들이다.

도 13a 및 도 13b는 도 12a 및 도 12b에 도시된 플롯의 각자의 확대된 상세도이다.

도 14, 도 15 및 도 16은 세 가지 상이한 시나리오에 대한 레인지-스위프 맵(각자의 상부 부분)과 레인지-속도 맵(각자의 하부 부분)의 각자의 조합이다.

도 17은 도 15에 예시된 시나리오에 대한 시간에 따른 IF의 플롯이다.

도 18은 소프트 블랭킹(soft blanking)과 하드 블랭킹(hard blanking)의 형상을, 제각기, 시간의 함수로서 예시

하는 차트이다.

도 19는 피해자 레이더(victim radar)와 간섭원 레이더(interferer radar)에 대한 각각의 파형들을 도시한다.

도 20은 방법을 예시하는 플로차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 본 발명은 대체로 동일한 RF(Radio Frequency) 대역에서 작동하는 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 레이더 디바이스(120) 그룹 내에서의 간섭 완화에 관한 것이다. FMCW 레이더 디바이스들(120)은 중앙 제어 모듈(110)을 통해 조정되거나, 장치 특정 거동을 지정하고 어쩌면 액션들과 정보의 동기화와 관련된 디바이스 간 상호 작용들도 지정하는 적합한 규칙 세트를 활용하는 탈중앙화된 방식으로 조정될 수 있다. 조정된 방식으로 함께 작동하기 위해, 이러한 협력적인 레이더 디바이스들(120)은 중앙 제어 모듈(110)로부터 도출된 것과 같은 글로벌 시간 기준 및/또는 각각의 레이더 디바이스들(120)의 GPS(Global Positioning System) 수신기와 같은 지오로케이션 신호를 잘 인식할 필요가 있다.
- [0030] 게다가 일반적으로, 본 발명은 도플러 레이더 기술에 관한 것이며, 환언하면, FMCW 레이더 디바이스들(120)은 도플러 레이더 디바이스들이다. 이하에서, "FMCW 도플러 레이더"라는 표현이 사용될 것이다.
- [0031] FMCW 레이더 디바이스들(120)은 "선형" 타입의, 환언하면 선형 FMCW를 사용하여 작동하는 FMCW 도플러 레이더들일 수 있다. 이러한 선형 FMCW의 예들은 아래에서 설명되는 "톱니형(sawtooth)", "역톱니형(inverted sawtooth)" 및 "삼각형" 주파수/시간 형상들을 포함하며, 여기서 주파수는 선형 방식으로 시간에 따라 변한다. 그렇지만, 일부 실시예들에서 비선형 주파수 변화도 사용될 수 있다는 것이 이해된다.
- [0032] 종래의 경우에, 다양한 타입의 비선형 주파수 변조들도 가능하더라도, FMCW 레이더는 선형 주파수 변조를 통해 연속적인 파형을 전송한다. 단순화를 위해, 이하의 설명에서, 변조가 도 1a에 예시된 바와 같이 "톱니형" 타입이라고 가정한다.
- [0033] 따라서, 도 1a에서, "톱니형"(또는 상이한 용어를 사용하여, "업 톱니형(sawtooth up)") 타입의 FMCW 파형(20)이 예시되어 있다. 참조 번호 21은 주파수 스위프 시간(스위프 반복 구간 T_{Rep} 에 대응함)을 나타내며, 이는 일반적으로 시간에 걸쳐 일정하며 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)에 동일할 수 있다. 참조 번호 22는 "업 처프(up-chirp)" 부분(실제 주파수 스위프)을 나타내는 반면, 23은 주파수가 다른 주파수 스위프를 위해 그의 시작 값으로 돌아가는 "다운 처프(down-chirp)" 부분을 (파선을 사용하여) 나타낸다.
- [0034] 이러한 "톱니형" 타입 이외의 다른 시간 반복 FMCW 파형들이 현재 맥락에서 유용하다는 점과 "톱니형" 타입이 명확성을 위해 제공된 예에 불과하다는 것은 인식하고 있다. 바람직하게는, 현재 맥락에서 유용한 FMCW 파형들에서, 주파수는 시간에 따라 선형적으로 변한다. 도 1b와 도 1c는 현재 맥락에서 유용한 상이한 FMCW 파형들의 두 가지 예를 개시한다.
- [0035] 그렇지만 일부 실시예들에서, 사용되는 FMCW 파형들은 본 명세서에 설명되고 도 1a 내지 도 1c에 예시된 바와 같이 "업 톱니형", "다운 톱니형(sawtooth down)" 또는 "삼각형" 중 하나 또는 여러 개이다.
- [0036] 따라서, 도 1b는 "다운 톱니형" 변형을 도시하고, 도 1c는 "삼각형" 변형을 도시한다. 후자에서, 업 스위프(up-sweeps)와 다운 스위프(down-sweeps) 스위프는 명목상 동일한 지속기간을 갖고 다운 스위프의 처프율(chirp rate)는 업 스위프의 처프율의 음수이다. 도 1a 내지 도 1c는 대응하는 부분들에 대해 동일한 참조 번호들을 공유한다는 점에 유의한다.
- [0037] 삼각형 파형을 사용할 때의 레인지와 도플러 처리는 톱니형 타입 파형과 약간 상이하다(여기서는 그에 대한 세부 사항으로 들어가지 않음). 그렇지만 이 경우에 다운 스위프가 업 스위프만큼 중요하다는 점에 유의해야 한다(톱니형 타입에서의 다운 스위프는 레인지(또는 도플러) 결정에 기여하지 않는다). 따라서, 도 1a의 경우에, 파형의 하나의 "톱니"(업 램프(up-ramp))는 종종 "처프" 또는 "스위프"라고 지칭되며 상승 부분은 특정 시간 지속기간 t_{up} 를 갖는다. 처프율 μ 는 업 처프 동안 단위 시간당 주파수 변화로 정의된다. 선형 주파수 변조를 사용하는 FMCW 레이더에서, 처프율(기울기)은 일정하다. 처프들 사이에서, 레이더는 시작 주파수로 돌아가야 하며, 따라서 "다운 처프"가 발생한다. 이상적으로는, 시작 주파수로 돌아가는 전환 시간이 0이지만, 이는 일반적으로는 가능하지 않다. 그렇지만, 톱니 파형의 경우, 하향 전환 시간 지속기간 t_{down} 은 일반적으로 t_{up} 의 작은 일부분에 불과하다.

- [0038] 전형적인 FMCW 도플러 레이더(200)의 블록 다이어그램이 도 2에 도시되어 있다.
- [0039] FMCW 도플러 레이더(200)는 전송 안테나(201), 수신 안테나(202) 및 해당 파형(20)을 생성하는 데 사용되는 발진기(203)를 포함한다. 따라서 파형 신호는 발진기(203)로부터(또는 발진기(203)에 기초하여) 전송 안테나(201)로 제공되고 믹서(204)에도 제공된다. 수신 안테나(202)는 전송된 파형 신호의 (타겟 에코(target echo)로 인한) 지연된 버전을 제공한다. 수신된 신호는 저잡음 증폭기(205)에 의해 증폭되어 믹서(204)에 제공될 수 있다. 믹서(204)는 수신된 신호를 기준 파형 신호와 곱하는 것에 의해 수신된 신호를 복조하는데, 그 결과는 타겟 에코의 시간 지연에 비례하는 주파수를 갖는 일정 주파수 신호이다. 이 신호는 필터 모듈(206)에 제공되어 필터 모듈(206)에 의해 저역 통과 필터링된다. 필터 모듈(206)은 믹싱되고 필터링된 신호를, 어쩌면 다른 증폭기(207)에서의 증폭 후에, A/D 변환기(208)에 제공한다. A/D 변환기(208)의 하류에는, 현재의 일반 타입의 FMCW 도플러 레이더들(200)에 대해 그 자체로 잘 알려진 바와 같이, 임의의 필터링, 데시메이션 등을 수행하도록 배열된 디지털 필터 모듈(206')이 있다.
- [0040] 결과적인 신호는 디지털 처리를 위해 로컬 제어 로직(209)에 제공된다. 시스템(100) 내의 모든 참여 FMCW 도플러 레이더들(120)의 수신기 대역폭들은 동일하거나 적어도 50% 이하만큼 상이한 것이 바람직하다.
- [0041] FMCW 도플러 레이더(200)는 지오로케이션 신호, 예를 들어, GPS 신호와 같은 글로벌 시간 기준 신호를 위한 수신 안테나를 포함하는 것과 같이, 시간 동기화 수단(210)을 또한 포함한다. 대안적으로, 시간 동기화 수단(210)은 중앙 제어 모듈(110)(아래 참조)로부터 브로드캐스트되는, 시간 동기화 신호를 수신하도록 배열될 수 있다. 시간 동기화 수단(210)은 로컬 제어 로직(209)의 일부를 형성할 수 있다. 예를 들어, 로컬 제어 로직(209)은 피어 FMCW 도플러 레이더들(200)의 각자의 클록들에 동기화되는 클록을 포함할 수 있다.
- [0042] FMCW 도플러 레이더들(120)에 걸친 클록 동기화는 정기적으로, 예컨대, 매 10초마다 적어도 한 번, 또는 심지어 매 5초마다 적어도 한 번, 예를 들어 매 1초마다 한 번 수행될 수 있다.
- [0043] FMCW 도플러 레이더(200)는 FMCW 도플러 레이더(200)가 대응하는 타입의 피어 FMCW 도플러 레이더들 및/또는 상기 중앙 제어 모듈(110)과 디지털적으로 통신할 수 있게 하도록 배열된, 무선 또는 유선 통신 수단과 같은, 통신 수단(211)을 또한 포함한다. 가능한 통신 채널들은 WiFi 또는 임의의 다른 라디오 통신 표준; 및 유선 통신 채널을 포함한다. 예를 들어, 종래의 인터넷 통신 프로토콜 그 자체가 상기 통신에 사용될 수 있다.
- [0044] FMCW 파형(20)은 전송 안테나(201)에 의해 전송되고 타겟 물체(10)(아래 참조)에서 반사되어 수신 안테나(202)를 향해 돌아온다. 수신 시에, (약한) 수신된 신호는 전송된 신호의 사본과 서로 곱해진다. 왕복 지연(round trip delay)은 믹서(204)의 출력에서 왕복 지연에 비례하는, 차례로 타겟 물체(10)까지의 거리(레인지)에 비례하는 주파수를 갖는 일정 주파수 신호를 생성할 것이다. 믹서(204) 이후의 신호는 IF(Intermediate Frequency) 신호라고 하며, 때때로 "비트 신호(beat signal)"라고도 지칭된다.
- [0045] 믹서(204)에서의 출력 신호는 레인지(또는 보다 정확하게는, 상대 지연)에 비례하는 주파수를 갖는 사인파(sinusoid)이므로, 레인지는 수신된 신호의 푸리에 변환을 수행하는 것에 의해 추출될 수 있다. 예를 들어, 종래의 고속 푸리에 알고리즘 그 자체가 사용될 수 있다. 게다가, 중첩(superposition)이 적용되므로, 타겟 물체들(10)의 그룹이 해당 레이더(220)를 기준으로 상이한 반경방향 거리들을 가지는 한, 타겟 물체들(10)의 그룹이 그러면 상이한 IF 주파수들과 연관될 것이기 때문에, 타겟 물체들(10)의 그룹이 거리와 관련하여 분해될 수 있다.
- [0046] 도 3은 믹싱 및 필터링 이후의 복소 기저대역 신호의 실수부를 도시한다. 이 예에서 타겟 물체는 49.8미터 레인지에 위치한다.
- [0047] 수신된 신호를 푸리에 변환한 후에, 타겟 레인지에서 집중된 응답이 수신되며, 도 4를 참조한다.
- [0048] 다음으로, 본 시스템에서 타겟 물체(10) 검출을 위해 수행되는 레인지-도플러(즉, 타겟 물체(10) 거리-속도) 처리와 관련하여 몇 가지 이론적 측면들이 설명될 것이다. 이러한 세부 사항은 IF 주파수와 레인지-속도 공간에서의 피크 위치 사이의 관계를 이해하는 데 도움이 될 수 있다.
- [0049] 스위프(처프) 시퀀스가 고려되고 단일 처프에 대한 수신기 응답은 "빠른 시간(fast time)"이라고 지칭된다. 수신된 데이터는 행렬 형태로 배열될 수 있으며, 예를 들어, 행 1은 스위프 1에 대한 샘플링된 응답이고, 행 2는 스위프 2에 대한 샘플링된 응답일 수 있으며, 이하 마찬가지이다. 따라서, "빠른 시간"은 (특정 행에 대해) 열들을 따라 있을 것이다. 반면, 행 차원은 종종 "느린 시간(slow time)"이라고 지칭되는데, 그 이유는, 예를 들면, 열에 대해, 하나의 행으로부터 다른 행으로의 시간 증분(time increment)이 스위프 반복 구간 T_{Rep} 와 동일하

기 때문이다.

[0050] 위에서 언급된 바와 같이, 레인지 프로파일은 빠른 시간 차원을 따라(상기 행렬에서, 각각의 행에 대해, 열들을 따라) 푸리에 변환을 적용하는 것에 의해 획득된다. 각각의 수신된 스위프를 푸리에 변환할 때, IF 주파수 $\tilde{f}$ 에서 피크가 있을 것이다. 일반적인 경우에, $\tilde{f}$ 는 타깃 물체(10)의 도플러 천이에 의해서도 영향을 받아, 처리에서 보상될 수 있는 레인지 추정치의 약간의 편향이 발생할 것이다. 이 효과는 당분간 무시된다.

[0051] IF 주파수와 레인지 간의 매핑은 $R_m = c\tilde{f}/(2\mu)$ 이고, 여기서 c 는 빛의 속도이고 μ 는 처프율이다. 레인지 압축(빠른 시간 푸리에 변환) 후의 샘플들은 "레인지 빈들(range bins)"이라고 지칭된다.

[0052] 레이더 처리에서, IF 주파수들을 동등한 레인지에 매핑할 때의 가정은 신호가 양방향 전파를 거쳤으며, 복귀(return)는(동일한 캐리어 주파수에 대해) 자체 전송된 신호가 타깃 물체(10)에서 반사되는 것으로 인한 것이라는 것이다. 대신 간섭하는 FMCW 레이더 디바이스가 일치된 파형(matched waveform)(아래 참조)을 갖는 것으로 인한 응답이 고려되는 경우, 이를테면 50m의 레인지에서, 이는 해당 레인지의 절반에서, 환언하면 25m에서 피크를 생성할 것이다.

[0053] "일치된 파형"이란 용어는 간섭하는 FMCW 레이더 디바이스가, 동일한 시간 오프셋 및 동일한 캐리어 주파수를 갖는, 피해자 레이더(방해를 받는 레이더)와 동일한 파형을 갖는다는 것을 지칭한다.

[0054] 상기 행렬의 행 차원에 대해 푸리에 변환이 적용될 때, T_{Rep} 가 느린 시간에서의 샘플링 구간이므로, 주파수 $\tilde{f}_D = \text{mod}\left(f_D, \frac{1}{T_{Rep}}\right) = \text{mod}(f_D, PRF)$ 에서 피크가 있을 것이다. 모듈로 연산은 $\frac{1}{T_{Rep}}$ 인, 느린 시간 차원에서의 샘플링 레이트와 관련한 가능한 폴딩(possible folding)을 고려한다. 여기서 해당 기술 분야에서 널리 사용되는 "펄스 반복 주파수"(PRF)라는 개념도 소개된다("스위프" 또는 "처프"는 "펄스"이다).

[0055] 레이더 신호 처리에서 가정되는 도플러 주파수와 반경방향 속도($v = \dot{R}$)(이동 타깃 물체(10)에 대해) 사이의 관계는 $f_D = -2v/\lambda$ 이며, 여기서 λ 는 파장이므로, 관찰된 타깃 물체(10)의 속도는 도플러 주파수 추정치 $\tilde{f}_D$ 로부터 다음과 같이 추정된다

수학식 1

$$v = -\frac{\lambda}{2}\tilde{f}_D$$

[0057] 게다가, $v_{PRF} = -\frac{\lambda}{2}PRF$ 를 ($\tilde{f}_D$ 에 대응하는) 명확한 속도 구간으로 정의하면, 속도 도메인에서 폴딩된 속도 피크가 끝나는 위치에 대한 다음 표현식이 얻어진다:

수학식 2

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

[0059] 위의 수학식들에서, 명확한 도플러 및 속도 구간들은 $[0, 1/T_{Rep}]$ Hz 및 $[0, v_{PRF}]$ m/s이다. 일반적으로, 대칭 구간들 $[-0.5/T_{Rep}, 0.5/T_{Rep}]$ Hz 및 $[-0.5v_{PRF}, 0.5v_{PRF}]$ m/s가 고려된다.

[0060] 본 원리들의 이론적 배경을 설명하기 위해, FMCW 간섭의 몇 가지 일반적인 특성들이 이제 논의될 것이다. 일반적으로, 간섭 특성들은 간섭하는 레이더와 피해자 레이더의 파형 파라미터들에 따라 달라진다.

[0061] 먼저, 간섭하는 레이더와 피해자 레이더의 파형들이 일치하는 경우, 환언하면 두 레이더 모두에 대해 주파수 스위핑이 동일한 형상 특성들을 가지는 경우가 분석된다. 게다가, 단순함을 위해, 간섭하는 레이더와 피해자 레

이더가 서로 동기화된 완벽한 처프들을 생성하는 이상적인 상황이 가정된다. 이 경우에, 간섭하는 레이더는 피해자 레이더에서 포인트 타겟(point target)과 유사한 응답을 생성할 것이며, 도 5를 참조한다.

[0062] 도 5의 상부 부분은 피해자 레이더로부터 조준 방향으로 99.2m의 레인지에 있는 간섭하는 레이더가 피해자 파형과 일치하는 파형을 방출하는 것으로 인한 피해자 레이더 수신기의 출력에서의 응답을 예시한다. 이 레인지의 절반인 49.6m와 제로 타겟 물체 속도에서 강한 피크 응답이 보인다.

[0063] 도 5의 중간 부분은 대응하는 "레인지-스위프" 행렬을 예시한다(레인지 푸리에 변환은 수행되지만, 속도 푸리에 변환은 수행되지 않는다). 도 5의 하부 부분은 제로 속도와 간섭원(간섭원들의 경우 단방향 전파)까지의 레인지의 절반에서의 압축된 포인트 유사 응답(compressed point-like response)을 보여주는, 대응하는 "레인지-속도" 행렬을 예시한다.

[0064] 이제 파형들이 일치하지 않는 경우로 넘어가면, 즉, 간섭하는 레이더 디바이스들의 파형 파라미터들이 상이할 때, 파형들이 어떻게 상이한지에 따라 간섭이 다양한 정도로 번지게(smeared) 된다. 도 6에 예시된 예는 피해자 레이더가 37.6MHz 파형을 사용하고 간섭하는 레이더가 대신 9.7MHz 파형을 사용하는 경우 결과적인 간섭을 보여준다. 명목 처프 반복 주파수들과 (업) 처프들의 길이가 동일한 것처럼 2개의 레이더의 명목 캐리어 주파수들은 동일하며; 따라서 처프율이 주요 차이를 보이는 파라미터이다. 이 문제의 기하학적 구조(및 모든 다른 관련 시스템 파라미터들, 출력 전력들, 안테나들 등)는 도 5에 도시된 예에서와 동일하다. 그렇지만, 일치하지 않는 파형으로 변경하는 것 외에도, 간섭원에 7 ppm의 클록 드리프트(발진기 드리프트)가 또한 추가되었다(간섭원의 클록은 피해자보다 초당 7마이크로초 더 빠르게 작동한다). 불일치하는 명목 파형 파라미터들로 인한 번짐(smearing) 외에도, 비동기화된 발진기들 및 독립적인 드리프트가 간섭 응답의 다양한 정도의 번짐을 야기한다.

[0065] 따라서, 도 6의 상부 부분은 피해자 파형과 일치하지 않는 파형을 갖는 간섭하는 레이더로 인한 피해자 레이더 수신기의 출력에서의 응답을 보여준다. 도 6의 이 상부 부분으로부터 명확한 바와 같이, 피해자와 간섭원의 처프율들의 차이와 동일한 명목 처프율을 갖는 결과적인 "미니 처프(mini-chirp)"가 있다. 미니 처프의 지속기간은 미니 처프의 처프율과 피해자 레이더의 수신기 체인의 대역폭에 따라 달라진다.

[0066] 도 6의 중간 부분은 위의 도 5의 중간 부분에 대응하는, "레인지-스위프" 행렬(레인지 푸리에 변환은 수행되지만 속도 푸리에 변환은 수행되지 않음)을 보여준다. 도 6의 하부 부분은 대신 20ms의 코히런트 처리 시간 구간에 기초한, (위의 도 5의 하부 부분에 대응하는) "레인지-속도" 행렬을 보여주며, 여기서 간섭하는 FMCW 신호에 대한 응답이 번져 있다는 것이 명확하며, 주된 이유는 일치하지 않는 파형들이다.

[0067] 따라서, 도 6의 하부 부분으로부터, 번져 있는 간섭이 존재하는 것을 알 수 있으며; 간섭은 레인지 차원에서 리지(ridge)를 따라 위치한다. 발진기들의 상대 드리프트들로 인해, 리지의 위치가 제로 속도로부터 멀어졌다. 명목 캐리어 주파수들이 동일하더라도, 드리프트가 유효 캐리어 주파수 차이를 야기하고, 이 차이의 크기는 속도 차원에서 리지의 위치를 결정한다(드리프트는 20ms 코히런트 처리 구간 동안 일정한 것으로 모델링된다).

[0068] 위에서 언급된 바와 같이, 본 해결책은 시간 및/또는 주파수 다중화가 가능하지 않거나 요망되지 않을 때 특히 유용하다. 따라서, 본 방법 및 시스템이 이러한 다중화를 이용하지 않는 것이 일반적으로 바람직하며, 환언하면 본 시스템(100)의 모든 FMCW 도플러 레이더들(100)이 공존하고 시간상 동시에 그리고 동일한 주파수 (서브) 대역 내에서 전송하는 것이 바람직하다. 그렇지만, 일부 실시예들에서, 본 동기화 방법들이 특정 다중화와 관련하여 이용될 수 있으며, 그러면 다중화 자체는 간섭 발생을 적절히 억제하거나 방지하기에 충분하지 않을 수 있다.

[0069] 다중화 접근 방식 대신, 시스템(100)의 FMCW 도플러 레이더들(120)은 일반적으로 아래에 설명된 시간 오프셋 파라미터 및 약간 오프셋된 캐리어 주파수들을 제외하고 동일한 명목 파형들 및 파라미터들을 사용한다.

[0070] 위에서 설명된 바와 같이, 비협력적인(조정되지 않은) FMCW 도플러 레이더들은 파형들이 얼마나 다른지에 따라 레인지-속도 도메인에서 다양한 정도로 번지게 되는 레이더 간 간섭을 생성한다. 골프공 추적과 같은 현재 응용들에서, 약한 타겟 신호들에 대한 높은 감도를 유지하고 이러한 신호들의 파라미터들의 추정치들의 정확도에 대한 높은 요구 사항들을 유지하는 것이 요망된다. 게다가, 많은 구체적인 응용들에서, FMCW 도플러 레이더들(120) 간의 간섭이 매우 강할 수 있으며; 간섭 대 잡음비는 임의의 코히런트 통합 전에 종종 50 내지 60dB 정도로 높을 수 있다. 따라서, 이러한 강한 간섭이 번지는 것은 바람직하지 않은데, 왜냐하면 레인지-속도 도메인에서 큰 영역들에 걸쳐 감도가 사실상 낮아질(set down) 것이기 때문이다.

[0071] 동시에, 레인지-속도 도메인에서 요구 사항들이 덜 엄격한 영역들이 있을 수 있다. 예를 들어, 어떤 속도를 초

과하면 타깃 물체들(10)이 검출되지 않을 것으로 예상되는 최대 속도가 있을 수 있다.

- [0072] 따라서 "일치하지 않는" 과형들을 갖는 FMCW 도플러 레이더 세트를 사용하면 감도와 추정 정확도 면에서 시스템 성능이 상당히 저하될 것인데, 그 이유는 간섭이 일반적으로 매우 강하고 널리 퍼져 있으며; 레인지-속도 도메인에서 간섭이 어디에 위치할 것인지에 대한 제어가 없을 것이기 때문이다.
- [0073] 대신, 본 명세서에서 사용되는 접근 방식은 간섭에 대한 감도가 상대적으로 낮은 레인지-속도 공간에서의 유일한 영역들에 간섭이 집중되도록 FMCW 도플러 레이더들(120)을 조정하는 것이다. 게다가, 이러한 영역들에서의 간섭 에너지가 감도 및 파라미터 추정 정확도에 대한 높은 요구 사항들과 연관된 영역들로 "누출(leaks out)"되는 것을 방지하는 것이 바람직하다. 아래에서 설명될 것인 바와 같이, 후자는 처리에서 사용될 윈도우들을 신중하게 선택하는 것(분해능과 사이드로브(side lobe) 레벨들 간의 절충을 구성하는 것) 및 어쩌면 또한 다운 처프들에 대응하는 처프 반복 구간들의 짧은 부분들의 효과를 감소시키기 위해 전송된 처프들의 얼마간의 Tx 블랭킹/테이퍼링을 사용하는 것을 고려하는 것에 의해 달성될 수 있다.
- [0074] 또한 아래에 설명될 것인 바와 같이, 협력하는 FMCW 도플러 레이더(120) 세트 내에서의 상호 간섭을 완화시키기 위한 하나의 중요한 수단은 해당 레이더들(120)의 개별 처프들이 서로에 대해 시간 지연을 갖도록 그 처프들의 시작을 스케줄링하는 것이다. 지연 세트들이 적절하게 선택되고 명목 과형 파라미터들이 그 외에는 동일한 경우, 의도적으로 부과된 지연은 피해자 레이더에서 다른 FMCW 도플러 레이더들의 IF 주파수들이 피해자 레이더의 수신기 대역폭 밖에(즉, 타깃 물체들(10)에 대해 탐색되지 않는 "레인지들"에) 있게 할 것이다. 그 결과, 간섭이 크게 감소될 것이다.
- [0075] 아래에서 논의될 것인 바와 같이, 공존해야 하는 FMCW 도플러 레이더들(120)의 수는 스위프들을 지연시키는 것만으로 수용할 수 있는 것보다 더 많을 수 있다. 이러한 경우에, 본 발명자들은 서브그룹들을 사용하여 이 문제를 해결하는 방식을 개발했다: 이러한 서브그룹 내의 시스템들이 상호 간섭 없이 작동할 수 있도록 그러나 서브그룹들 간에는 간섭이 있도록 시간 오프셋들이 선택된다.
- [0076] 시스템(100) 내의 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)의 필터 체인(즉, 아날로그 필터(206)과 206'에서의 디지털 필터링 단계들의 조합)은 (최대 IF 범위, 즉 타깃 검출을 위한 최대 범위를 넘어서) 가능한 한 급격한 전이 대역들(transition bands) 및 가능한 한 높은 대역 외 감쇠를 가져야 한다. 이렇게 하는 것은 더 조밀한 시간 오프셋 세트를 선택하면서도 간섭 제거 요구 사항들을 충족시킬 수 있으므로 공존할 수 있는 FMCW 도플러 레이더들(120)의 수를 증가시킬 것이다.
- [0077] 따라서, 시스템들 간에 의도적인 상대 처프 지연들을 도입하는 것에 의해, 관심 레인지 구간(range interval) 밖에 간섭을 위치시키는 것이 가능하다.
- [0078] 그렇지만, 일반적인 경우에, N개의 그룹이 정의될 수 있다. 이러한 그룹들은 예를 들어 아래에 예시된 방식으로 "제1" 그룹(121), "제2" 그룹(122) 및 가능한 추가 그룹들을 사용하여 스위프 지연들의 시간 오프셋들을 결정하는 동안 정의될 수 있다. 각각의 그룹은 그러면 다른 그룹들의 시간 오프셋들과 겹치는(즉, 유사한 스펠에 있는) 자체 시간 오프셋 세트를 제공받을 것이다. 그룹 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)에 제공되는 시간 오프셋들은 해당 그룹 내의 레이더들(120) 사이에 간섭 없는 작동을 보장할 것이다. 그러나 위에서 설명된 바와 같이, 상당한 그룹 간 간섭이 있을 수 있다.
- [0079] 서브그룹 간섭의 영향을 감소시키기 위해, 이 레이더(120) 그룹이 다른 FMCW 도플러 레이더(120) 그룹들에 가하는 간섭이 결국에 다른 레이더 그룹들에서 타깃 검출 및 추정에 중요하지 않은 속도들에 있도록, 모든 다른 서브그룹들과 관련하여 하나의 서브그룹 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)의 스위프들의 중심 주파수들을 변경하는 것이 가능하다. 구체적으로, 모든 서브그룹들은 그룹 간 간섭의 영향을 감소시키기 위해 고유하게(서브그룹 내의 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대해 동일하게) 조정된 중심 주파수를 제공받을 수 있다.
- [0080] 따라서, FMCW 도플러 레이더들(120)의 그룹들(121, 122) 사이의 상호 간섭의 효과를 감소시키기 위해 속도 도메인에서 그룹들(121, 122)의 분리를 달성하기 위해 그룹들(121, 122) 사이의 중심 주파수들의 작은 차이들(캐리어 주파수 차이들)이 선택될 수 있다.
- [0081] 이렇게 하는 것은, 아래에 상술되는 바와 같이, "서브그룹들의 분리"를 달성한다.
- [0082] 수신 필터 체인들(206, 206')(IF 차원에서의 필터링)의 경우와 마찬가지로, 위치 확인된 간섭 응답으로부터 확산되는 속도 도메인에서의 사이드로브 레벨들을 감소시키기 위해 속도 필터링(도플러 필터링)이 또한 적용될 수 있으며; 그 사이드로브들은 사용된 처리 윈도우에 의해 결정된다(dictated). 도플러 필터링은 그러면 느린 시간

차원을 따라 연속적으로 실행되어, 높은 차단 대역 감쇠를 갖는 매우 긴 필터들의 사용을 가능하게 한다. 이 필터링은 대역 통과 필터링일 수 있다.

- [0083] 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 수신하는 FMCW 도플러 레이더(120)의 "필터 체인"(206, 206')이란, 예컨대 2차원 푸리에 변환을 수행하여 레인지-속도 행렬을 생성하기 전에, 수신 안테나(201)의 출력 단자로부터 레이더의 최종 출력까지의 총 전달 함수를 의미한다.
- [0084] 도 7은 본 발명의 하나 이상의 실시예에 따른 시스템(100)을 예시하며, 이 시스템(100)은 복수의 공동 배치된 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 하나 또는 여러 개를 기준으로 공간을 이동하는 타겟 물체들(10)까지의 각자의 레인지들 및 그 타겟 물체들(10)의 각자의 속도들을 검출하도록 구체적으로 적응된다. 도 7이 현재 사용되는 원리들을 명확히 하기 위해 제공되었으며, 시스템(100)의 기하학적 레이아웃이 실제로는 다를 수 있다는 것은 인식하고 있다.
- [0085] 시스템(100)은 위에서 논의된 타입의 스위프 전송들 면에서 FMCW 도플러 레이더들(120)의 거동을 동기화하기 위해 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각과 통신하도록 배열된 중앙 제어 모듈(110)을 포함할 수 있다. 대안적으로, 시스템(100)은 이러한 중앙 제어 모듈(110)을 포함하지 않을 수 있으며, 이 경우에 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)는 위에서 논의된 바와 같이 공통 시간 기준과 결합하여, 상기 타입의 동기화를 달성하는 것을 목표로 피어-투-피어 직접 협업을 구축하기 위해 미리 결정된 거동 규칙 세트 및/또는 레이더들(120) 간의 통신을 위한 통신 기능을 포함할 수 있다.
- [0086] 어쨌든, 시스템(100)은 하드웨어 및/또는 소프트웨어로 구현되는 제어 기능을 포함하며, 제어 기능은 중앙 제어 모듈(110)에 중앙 집중화되고/되거나 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 여러 개에 걸쳐 분산되고, 이어서 각각의 관여된 레이더(120)의 각자의 제어 로직(209)에서 로컬로 실행된다. 이러한 제어 기능은 해당 FMCW 도플러 레이더들(120)에 걸쳐 상기 동기화를 수행하는 것에 의해 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각에 대한 감소된 간섭을 제공하도록 차례로 배열된다.
- [0087] 중앙 제어 모듈(110)은 중앙 집중화된 클록 기능(111)을 포함할 수 있으며, 이 클록 기능(111)은 차례로 GPS 신호와 같은 글로벌 시간 기준 신호를 위한 수신 안테나를 포함할 수 있다. 중앙 제어 모듈(110)은 이 클록 기능(111)을 사용하여 FMCW 도플러 레이더들(120)에 걸쳐 시간 오프셋들에 대해 상기 동기화를 수행할 수 있다.
- [0088] 중앙 제어 모듈(110)은 적합한 소프트웨어로 구현될 수 있는 제어 로직(112)을 또한 포함할 수 있다. 제어 로직(112)은 상기 제어 기능의 일부이거나 상기 제어 기능을 구성할 수 있다.
- [0089] 게다가, 중앙 제어 모듈(110)은 개별 FMCW 도플러 레이더들(120)과 통신하기 위한, 위에서 논의된 통신 수단(211)에 대응하는, 통신 수단(113)을 포함할 수 있다.
- [0090] 도 7은 또한 이러한 FMCW 도플러 레이더들(120)의 제1 그룹(121)과 이러한 FMCW 도플러 레이더들(120)의 제2 그룹(122)으로 분류되는, 다양한 FMCW 도플러 레이더들(120)을 예시한다. FMCW 도플러 레이더들(120)의 2개 초과 의 이러한 그룹이 있을 수 있다는 것은 인식하고 있다.
- [0091] 일반적으로, 본 발명자들은 시스템(100)이 적어도 3개의 FMCW 도플러 레이더(120), 일부 경우에 적어도 5개의 FMCW 도플러 레이더(120) 또는 심지어 적어도 10개의 FMCW 도플러 레이더(120)를 포함할 수 있는 것을 구상한다. 게다가, 현재 개시된 방법들을 사용하여 동기화되는 시스템(100)의 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각이 그의 가장 가까운 피어 FMCW 도플러 레이더(120)으로부터 최대 5,000미터, 예컨대 최대 3,000미터, 예컨대 최대 1,000미터, 예컨대 최대 500m, 예컨대 최대 100m 떨어진 곳에 배열될 수 있다.
- [0092] 도 7은 각각의 공동 배치된 FMCW 도플러 레이더(120)로부터 방출되는 전자기파들(123)(스위프 레이더 신호들)을 예시한다. 실제 시나리오에서, 안테나들(201, 202)이 특정 방향성을 가질 것이지만, 도 7에서는 단순함을 위해 이 사실이 무시된다는 점에 유의한다.
- [0093] 현재 맥락에서, FMCW 도플러 레이더들(120)이 "공동 배치된다"는 것은 간섭과 관련하여 적어도 쌍으로 서로 영향을 미친다는 것을 의미한다.
- [0094] 보다 정확하게 말하면, 도 7에 예시된 바와 같이, 적어도 어떤 가능한 구성에 따라 구성될 때, FMCW 도플러 레이더들(120) 각각이 적어도 하나의 다른 FMCW 도플러 레이더(120)으로부터의 간섭에 의해 영향을 받을 수 있다. 구체적으로, 완전히 격리된 FMCW 도플러 레이더들(120)의 섬이 없는 것이 바람직한데, 완전히 격리된 섬이란 하나의 그러한 "섬"의 단일 FMCW 도플러 레이더(120)가 임의의 다른 그러한 "섬"의 임의의 FMCW 도플러 레이더(120)로부터의 간섭을 경험하지 않는다는 의미이다. 2개 이상의 그러한 "섬"이 존재하는 경우에, 현재 용어

로는 이들이 상이한 시스템들(100)에 속하는 것으로 간주될 것이다.

- [0095] 이 맥락에서, "간섭에 의해 영향을 받는다"는 것은 해당 FMCW 도플러 레이더(120)에 도달하는 간섭하는 전자기 레이더파가, 해당 피해자 FMCW 도플러 레이더(120)에서 필터링된 후에, 피해자 FMCW 도플러 레이더(120)의 최소 감도 초과 전력을 가져, 피해자 FMCW 도플러 레이더(120)로부터의 출력 정보에 부정적인 영향을 미친다는 것을 의미한다.
- [0096] 검출될 각각의 타깃 물체(10)는 적어도 하나의 FMCW 도플러 레이더(120)의 검출 레인지 내에 존재할 것이다.
- [0097] 도 2에서, FMCW 도플러 레이더(200)는 단지 하나의 수신 안테나(202)를 포함한다. 그렇지만, 시스템(100)에서 사용되는 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 하나 또는 여러 개가 하나 초과의 수신 안테나(202)를 포함할 수 있다는 것은 인식하고 있다. 예를 들어, 이를 통해 해당 FMCW 도플러 레이더(200)가 추적되는 타깃 물체(10)에 대한 상대 방향을 검출할 수 있게 될 수 있다. 본 명세서에 설명된 원리들은 이 경우에서도 똑같이 적용 가능하다.
- [0098] 본 발명의 예시적인 실시예들에서, 시스템(100)은 비행 중인 스포츠 물체, 예컨대 비행 중인 공, 예를 들어, 비행 중인 야구공 또는 골프공 형태의 타깃 물체들(10)을 추적하도록 배열된다. 일부 실시예들에서, 시스템(100)은 골프 연습장, 예컨대 시스템(100)을 사용하여 추적될 골프공을 치기 위한 복수의 베이를 갖는 골프 연습장에서 사용된다. 이 경우에, 복수의 FMCW 도플러 레이더들(120)은 해당 레인지와 관련하여 원하는 지상 영역 및/또는 공중 공간(air volume)을 공동으로 커버하도록 제공된다.
- [0099] 다양한 타입의 컴퓨터들이 시스템(100)에서 사용될 수 있다. 중앙 제어 모듈(110)(구체적으로는 제어 로직(112)) 및 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각(상세하게는 제어 로직(209))은 이러한 컴퓨터들의 예들을 구성한다.
- [0100] 컴퓨터의 필수 요소들은, 일반적으로, 명령어들을 수행하기 위한 프로세서 및 명령어들과 데이터를 저장하기 위한 하나 이상의 메모리 디바이스이다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "컴퓨터"는 서버 컴퓨터, 클라이언트 컴퓨터, 개인용 컴퓨터, 임베디드 프로그래밍 가능 회로 또는 특수 목적 로직 회로를 포함할 수 있다. 이러한 컴퓨터들은 인터넷과 같은 네트워크를 통해 또는 Bluetooth[®] 연결과 같은 디지털 통신을 위한 임의의 적합한 피어-투-피어 연결을 통해 하나 이상의 다른 컴퓨터와 연결될 수 있다.
- [0101] 각각의 컴퓨터는 애플리케이션 계층과 운영 체제 사이에 분산될 수 있는, 다양한 소프트웨어 모듈들을 포함할 수 있다. 이들은, 예를 들어, 타깃 물체(10) 검출 프로그램, 2D 타깃 물체(10) 추적 프로그램 및/또는 타깃 물체(10) 3D 추적 프로그램으로서 작동하는 다양한 프로그램들을 포함한, 실행 가능한(executable) 및/또는 인터프리트 가능한(interpretable) 소프트웨어 프로그램들 또는 라이브러리들을 포함할 수 있다. 다른 예들은 FMCW 도플러 레이더 시간 스위프 오프셋 및/또는 주파수 스위프 오프셋 동기화 프로그램을 포함한다. 사용되는 소프트웨어 모듈들의 수는 구현마다 다를 수 있으며, 그러한 컴퓨터마다 다를 수 있다. 상기 프로그램들 각각은 하나 이상의 컴퓨터 네트워크 또는 다른 적합한 통신 네트워크에 의해 연결되는 하나 이상의 데이터 처리 장치에 분산되어 있는 임베디드 펌웨어 및/또는 소프트웨어 모듈들에서 구현될 수 있다.
- [0102] 도 8은 하나 이상의 하드웨어 프로세서(312), 하나 이상의 추가적인 디바이스(314), 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체(316), 통신 인터페이스(318), 및 하나 이상의 사용자 인터페이스 디바이스(320)를 포함하는 하드웨어 또는 펌웨어 디바이스들을 포함할 수 있는 데이터 처리 장치(300)인, 그러한 컴퓨터의 예를 예시한다. 프로세서(312)는 추가적인 디바이스들(314) 중 하나와 같은 저장 디바이스를 포함할 수 있는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체(316)에 저장된 명령어들과 같은, 데이터 처리 장치(300) 내에서 실행하기 위한 명령어들을 처리할 수 있다. 일부 구현들에서, 프로세서(312)는 단일 또는 다중 코어 프로세서이거나, 2개 이상의 중앙 처리 유닛(CPU)이다. 데이터 처리 장치(300)는 그의 통신 인터페이스(318)를 사용하여, 예를 들어, 네트워크(380)를 통해 하나 이상의 다른 컴퓨터(390)와 통신한다. 따라서, 다양한 구현들에서, 설명된 프로세스들은 단일 또는 다중 코어 컴퓨팅 머신에서 및/또는 컴퓨터 클러스터/클라우드 등에서 병렬로 또는 직렬로 실행될 수 있다.
- [0103] 데이터 처리 장치(300)는 애플리케이션 계층과 운영 체제 사이에 분산될 수 있는, 다양한 소프트웨어 모듈들을 포함한다. 이들은 전과 결정 단계(S2), 클록 동기화 단계(S3), 스위프 시간 오프셋 동기화 단계(S4), 스위프 주파수 오프셋 동기화 단계(S5) 및 물체 검출 단계(S6) 중 하나 또는 여러 개와 같은, 본 명세서에 설명된 타입의 방법의 적어도 일부를 수행하도록 차례로 배열된, 본 명세서에 설명된 바와 같은 개별 FMCW 도플러 레이더(200)의 로컬 제어 로직(209)을 구성하는 프로그램(330)을 포함한, 실행 가능한 및/또는 인터프리트 가능한 소프트웨어 프로그램들 또는 라이브러리들을 포함할 수 있다. 프로그램(330)은 또한 전과 결정 단계(S2), 클록 동기화 단계(S3), 스위프 시간 오프셋 동기화 단계(S4), 스위프 주파수 오프셋 동기화 단계(S5) 및 물체 검출

단계(S6) 중 하나 또는 여러 개와 같은, 본 명세서에 설명된 타입의 방법의 적어도 일부를 수행하도록 차례로 배열된, 본 명세서에 설명된 바와 같은 제어 로직(112)을 구성할 수 있다. 더욱이, 프로그램(330)은 또한 적어도 2개의 공동 배치된 FMCW 도플러 레이더(120) 중 적어도 하나를 기준으로 공간을 이동하는 물체들(10)의 각자의 레인지들, 속도들 및/또는 방향들을 검출하기 위한 프로그램일 수 있다.

[0104] 사용자 인터페이스 디바이스들(320)의 예들은 디스플레이, 터치스크린 디스플레이, 스피커, 마이크로폰, 촉각 피드백 디바이스, 키보드 및 마우스를 포함한다. 더욱이, 사용자 인터페이스 디바이스(들)는 로컬 디바이스(들)(320)일 필요는 없고, 데이터 처리 장치(300)와 멀리 떨어져 있을 수 있으며, 예를 들면, 하나 이상의 통신 네트워크(들)(380)를 통해 액세스 가능한 사용자 인터페이스 디바이스(들)(390)일 수 있다. 데이터 처리 장치(300)는, 예를 들어, 하나 이상의 추가적인 디바이스(314), 예를 들어, 플로피 디스크 디바이스, 하드 디스크 디바이스, 광학 디스크 디바이스, 테이프 디바이스 및 솔리드 스테이트 메모리 디바이스(예를 들면, RAM 드라이브) 중 하나 이상을 포함할 수 있는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체(316)에 이 문서에서 설명된 바와 같이 동작들을 구현하는 명령어들을 저장할 수 있다. 더욱이, 이 문서에 설명된 동작들을 구현하는 명령어들은 하나 이상의 컴퓨터(390)로부터(예를 들면, 클라우드로부터) 네트워크(380)를 통해 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체(316)로 다운로드될 수 있으며, 일부 구현들에서, RAM 드라이브는 컴퓨터가 켜질 때마다 명령어들이 다운로드되는 휘발성 메모리 디바이스이다.

[0105] 설명된 컴퓨터 하드웨어가 물리적 하드웨어, 가상 하드웨어 또는 이들의 임의의 조합일 수 있음은 인식하고 있다.

[0106] 따라서, 시스템(100)은 본 발명의 하나 이상의 실시예에 따른 방법을 수행하여 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각에 대한 감소된 간섭을 제공하도록 배열된다.

[0107] 본 발명은 또한 중앙 제어 모듈(110) 및/또는 분산 FMCW 도플러 레이더 디바이스(120) 세트 중 각각 또는 여러 개의 분산 FMCW 도플러 레이더 디바이스(120)의 상기 타입의 컴퓨터 하드웨어에서 실행될 때 상기 방법을 수행하도록 배열된 컴퓨터 소프트웨어 제품에 관한 것이다. 따라서 컴퓨터 소프트웨어 제품은 본 방법을 수행하는 데 필요한 기능을 제공하기 위해 시스템(100)의 일부로 배포될 수 있다.

[0108] 따라서 상기 시스템(100)과 상기 컴퓨터 소프트웨어 제품 둘 모두는 본 명세서에 설명된 방법 단계들, 상세하게는 아래에서 설명되는 동기화 절차들에 속하는 단계들을 수행하는 것에 의해 복수의 공동 배치된 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 도플러 레이더들(120) 각각에 대한 감소된 간섭을 제공하도록 차례로 배열되는 위에서 언급된 제어 기능을 포함하거나 구체화하는 것에 의해, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 하나 또는 여러 개를 기준으로 공간을 이동하는 타겟 물체들(10)까지의 각자의 거리들 및 이 타겟 물체들(10)의 각자의 속도들을 검출하도록 배열된다.

[0109] 일반적으로, 본 방법과 관련하여 언급된 모든 내용은 본 시스템 및 본 컴퓨터 소프트웨어 제품에 똑같이 적용 가능하며, 그 반대의 경우도 마찬가지이다.

[0110] 이제 도 9를 살펴보면, 본 발명의 하나 이상의 실시예에 따른 방법이 예시되어 있으며, 이 방법은 상기 타입의 복수의 공동 배치된 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대한 감소된 간섭을 제공하기 위한 것이며, FMCW 도플러 레이더들(120) 각각은 시스템(100)에서 해당 FMCW 도플러 레이더(120)를 기준으로 공간을 이동하는 타겟 물체들(10)까지의 각자의 거리들 및 이 타겟 물체들(10)의 각자의 속도들을 검출하는 데 사용된다.

[0111] FMCW 도플러 레이더들(120)은 레이더들(120)을 동기화하기 위해, 위에서 설명된 바와 같이, 직접 또는 중앙 제어 모듈(110)을 통해, 레이더 간 통신을 위해 상호 연결되는 것이 바람직하다.

[0112] 그렇지만, 대체 실시예들에서, FMCW 도플러 레이더들(120) 중 적어도 일부, 예컨대 전부는 레이더 간 통신을 위해 상호 연결되지 않는다. 대신, 이들은 공통의 신뢰할 수 있는 시간 기준(예컨대, 각각의 연결되지 않은 FMCW 도플러 레이더(120)에 로컬로 수신되는 GPS 신호) 및 각각의 각자의 연결되지 않은 FMCW 도플러 레이더(120)에 적용되는 미리 결정된 로컬 동기화 파라미터 설정 세트를 사용하여 동기화될 수 있다. 이 후자의 경우에, 동기화는 타겟 물체들(10)을 검출하고 추적하기 위한 시스템(100)의 작동 이전에 이러한 동기화 파라미터의 값들을 결정하고 구현하는 것에 의해 달성될 수 있으며, 이러한 동기화는 이어서 반복적으로 또는 필요에 따라 업데이트될 수 있다. 이러한 동기화 및 재동기화는 아래에서 설명되는 타입의 레이더 간 간섭의 측정에 의해 획득되는 측정 정보에 기초하여 수행될 수 있다. 연결되지 않은 FMCW 도플러 레이더들(120)의 경우, 이러한 간섭 측정은 그러면 수동 측정 단계를 포함하거나 공통 시간 기준을 기준으로 참여하는 FMCW 도플러 레이더들 각각에 대한 테스트 신호들의 미리 결정된 전송 스케줄에 기초할 것이며, 이는 각각의 연결되지 않은 FMCW 도플러 레이

더(120)가 특정의(또는 각각의) 식별된 다른 FMCW 도플러 레이더(120)로부터 수신되는 전자기 레이더 신호의 비행 시간과 총 간섭을 신뢰성 있게 측정할 수 있게 한다.

[0113] (적합한 레이더 간 시간 오프셋을 결정하는 것과 관련하여) FMCW 도플러 레이더들(120)의 동기화는 일반적으로 각각의 간섭하는 FMCW 도플러 레이더(120)로부터 대응하는 피해자 FMCW 도플러 레이더(120) 세트의 각각의 피해자 FMCW 도플러 레이더(120)까지의 비행 시간 또는 전파 시간의 초기 및/또는 반복 측정에 기초할 수 있다. 다중 경로 전파로 인해, 이러한 비행 시간 또는 전파 시간은 여러 개의 시간들을 포함할 수 있다. 다중 경로로 인해, 각각의 경로마다 하나씩, 여러 개의 구별되는 전파 시간 지연 값들이 추정될 수 있다. 일반적으로, 본 목적들에 관련된 비행 시간 또는 전파 시간은 필터링 후에 관련 신호 대 잡음비 초과이고/이거나 해당 피해자 FMCW 도플러 레이더(120)에서 간섭을 제공할 만큼 충분히 강하여 해당 피해자 FMCW 도플러 레이더(120)에 의한 타깃 물체(10) 검출 또는 추적에 해로운 신호 강도로 해당 피해자 FMCW 도플러 레이더(120)에 도달하는 가장 긴 비행 시간 또는 전파 시간이다.

[0114] 이러한 측정 방법에 대한 대안으로서, 일부 실시예들에서 전파 시간들 및/또는 간섭 레벨들은 고려된 FMCW 도플러 레이더들 각각(120)의 알려진 기하학적 위치에 기초하여 계산된다. 이러한 기하학적 위치들은 물리적 측정에 의해 및/또는 해당 FMCW 도플러 레이더(120)에 의해 수신된 지오로케이션 신호, 예컨대 GPS로부터 각각의 해당 FMCW 도플러 레이더(120)에서 각자의 위치를 판독하는 것에 의해 획득될 수 있다. 이 대안이 다중 경로 전파를 자동으로 고려하지 않지만 일부 경우에 적절한 정보를 제공할 수 있으며 그러면 더 간단한 구성으로 인해 선호될 수 있음은 인식하고 있다. 다중 경로가 가정된 최대 전파 시간 지연을 갖는 것을 감안하기 위해 절차에 추가 시간 마진(extra time-margin)을 도입하는 것도 실현 가능하다. 그렇지만, 상호 간섭 레벨들은 자유 공간 전파 손실 및 레이더들의 알려진 위치들 및 자세들을 고려하는 레이더 방정식에 기초하여 추정될 수 있다. 일부 실시예들에서, FMCW 도플러 레이더들(120) 사이의 전파에 영향을 미치는 물리적 환경의 미리 결정된 모델도 사용될 수 있다.

[0115] 일반적으로, 본 방법의 하나 이상의 실시예에 따르면, 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)에 대한 각자의 주파수 스위프 전송 시간 오프셋들과 각자의 스위프 주파수 오프셋들이 선택된다. 상세하게는, 해당 FMCW 도플러 레이더(120)의 측정 출력들에 대한 이러한 간섭의 영향을 최소화하는 목적으로 IF 또는 타깃 물체(10) 레인지 도메인에서 간섭을 할당하기 위해 (다른 레이더들을 기준으로) 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)에 대한 스위프 시간 오프셋이 개별적으로 조정되는 반면; 타깃 물체(10) 속도 도메인에서 간섭을 할당하기 위해 (다른 레이더들을 기준으로) 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)에 대한 스위프 주파수 오프셋이 개별적으로 조정될 수 있다. 이러한 개별 조정은 일부 경우에 하나 또는 여러 개의 FMCW 도플러 레이더(120)에 대해서는 상기 오프셋들 중 하나가 0으로 유지되거나 변경되지 않는 반면, 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대해서는 해당 오프셋이 변경되거나 0이 아닌 값으로 설정되는 것을 의미할 수 있다. 조정은 위에서 설명된 바와 같이 결정되는 FMCW 도플러 레이더들(120) 간의 간섭 레벨들 및 전파 시간들에 기초하여 이루어진다. 아래에서 알게 될 것인 바와 같이, 스위프 주파수 오프셋은 그룹 레벨에서 발생할 수 있으며, 따라서 특정 그룹(121, 122)에 속하는 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)은 동일한 양만큼 주파수 오프셋된다.

[0116] 본 방법은 FMCW 도플러 레이더들(120)의 상호 간섭 및 전파 시간 지연들이 추정되는, 반복적으로 수행되는(re-occurring) 평가 절차를 포함할 수 있다. 해당 절차로부터 출력되는 정보에 기초하여, 최적화된 스위프(차프) 전송 시간 오프셋과 캐리어 주파수 오프셋 세트가 제어 모듈(110)과 같은 상기 (중앙 또는 분산) 제어 기능에 의해 결정된다. 나머지 FMCW 도플러 레이더들(120)의 일부 또는 전부에 대한 하나의 FMCW 도플러 레이더(120)로부터의 간섭의 심각도가 평가되고, 이어서 측정된 전파 시간 지연들이 시간 슬롯 분포를 최적화하는 데 사용될 수 있다. 이러한 목적을 위해, 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)는 이 정보를 도출할 수 있는 측정 기능을 갖추고 있을 수 있다. 측정들의 결과들은 네트워크를 통해 FMCW 도플러 레이더들(120)에 의해 공유되고 분산 방식으로 처리될 수 있거나, 측정들이 추가 정보 집계를 위해 중앙 제어 모듈(110)에 송신될 수 있다.

[0117] 제1 단계(S1)에서, 이 방법이 시작된다.

[0118] 후속하는 전파 결정 단계(S2)에서, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120)의 쌍들 사이의 예상된 전자기파 전파 시간들이 결정/추정된다. 이 전파 결정 단계(S2)는 위에서 설명된 바와 같이 수행될 수 있으며, 상세하게는 이러한 FMCW 도플러 레이더들(120)의 쌍들 사이의 예상된 간섭 레벨을 측정하는 단계를 또한 포함할 수 있다. “예상된”이라는 용어는 아래에서 설명되는 타깃 물체(10) 검출 단계(S6) 동안 예상되는 시간들 및 레벨들을 지칭한다.

[0119] 시스템(100) 내의 2개의 FMCW 도플러 레이더(120)의 각각의 쌍에 대한 예상된 전자기파 전파 시간들 및/또는 예

상된 간섭 레벨이 측정될 수 있다.

- [0120] 이러한 상호 간섭의 결정은 수신하는 FMCW 도플러 레이더(200)의 필터 체인들(206, 206')에서의 감쇠를 고려하지 않고 수행될 수 있다. 대신, 전파 결정 단계(S2)는, 아래에서 설명될 것인 바와 같이, 모든 청취하는 (피해자) 레이더들의 통과 대역 내에 있는 간섭을 측정하도록 설계될 수 있다. 이는 FMCW 도플러 레이더들(120)을 아래에서 설명되는 방법 단계들에 따라 이들이 가하는 간섭과 관련하여 분류하는 데 사용될 수 있는 상호 간섭의 결정/추정이 필터 체인(206, 206')의 IF 주파수 감쇠에 직접적으로 의존하지 않을 수 있음을 의미한다.
- [0121] 전파 결정 단계(S2)는 하나의 FMCW 도플러 레이더(120)가 차례로 그의 송신기(201)를 활성화시키고, 모든 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)이 전송하는 FMCW 도플러 레이더(120)에 대해 동시에 청취하여 전송하는 FMCW 도플러 레이더(120)로 인해 경험하는 간섭 레벨에 대한 정보를 추출하는 것을 포함할 수 있다. 이러한 전송 및 청취는 단계(S6)에서 타깃 물체(10) 검출을 위해 사용된 것과 동일한 안테나들(201, 202)을 사용하여 수행될 수 있다.
- [0122] 게다가, 전파 결정 단계(S2)는 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 하나 또는 여러 개가 각자의 전자기 테스트 신호를 방출하는 것을 포함할 수 있다. 이어서 이러한 전자기 테스트 신호는 다른 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 하나 또는 여러 개에 의해, 예컨대 간섭 강도 면에서 검출될 수 있고 타이밍될 수 있다.
- [0123] 상세하게는, 전송하는 FMCW 도플러 레이더(120)는 간섭 평가를 위해 구체적으로 설계된 특수 목적 파형을 사용할 수 있다. 이는 예를 들어 모든 참여하는 FMCW 도플러 레이더들(120)이 알고 있는 미리 결정된 주파수의 순수(단일 톤) CW(Continuous Wave) 신호; 또는 아래에서 상술되는 바와 같은 표준 FMCW 파형일 수 있다.
- [0124] 전파 시간들은 미리 결정된 임계값 초과와 전력 레벨들을 갖는 (가능한 다중 경로 전송 경로 세트 중에서) 가장 긴 각자의 경로로서 추정될 수 있다.
- [0125] 테스트 신호가 순수 CW 전자기 신호인 경우에, 전파 시간들이 일부 경우에 직접 측정될 수 없지만, 대신 해당 FMCW 도플러 레이더들(120)의 알려진 2D 또는 3D 위치들을 사용하여 직접 경로 전파 시간들로서 계산될 수 있다. 예를 들어, 위에서 언급된 바와 같이, 이 정보는 각각의 FMCW 도플러 레이더(120) 내의 각자의 내장된 GPS 장비로부터 편리하게 도출될 수 있다.
- [0126] 그렇지만, 다른 대안은 전자기 테스트 신호가 일정하지 않은 주파수를 갖는 파형을 포함하는 FMCW 파라는 것이다. 예를 들어, 이러한 FMCW 파는 여러 개의 또는 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)에 알려져 있고 이들에 의해 사용되는 공통 파형을 가질 수 있다. 공통 파형은 예를 들어 단계(S6)(아래 참조)에서 타깃 물체들(10)의 검출을 수행할 때 일반 레이더 기능들에 의해 사용되는 것과 동일한 기본 파형일 수 있다.
- [0127] 보다 일반적으로 말하면, 전파 결정 단계(S2)는 따라서 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)가 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 특정 송신하는 FMCW 도플러 레이더(120)로부터 상기 전자기 테스트 신호를 수신하고 수신된 전자기 테스트 신호 파의 최대 검출된 전파 시간을 결정하는 것을 포함할 수 있다. 바람직하게는, 이러한 결정은 해당 수신하는 FMCW 도플러 레이더(120)의 수신 시에 최소 전력을 갖는 수신된 전자기 테스트 신호들만을 고려하는 것에 의해, 임의의 다중 경로 파 궤적들을 고려한다.
- [0128] 더욱이, 전파 결정 단계(S2)는 해당 전자기 테스트 신호를 수신하는 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)에서, 수신된 전자기 테스트 신호의 최대 전력을 측정하거나, 수신된 전자기 테스트 신호에 기초하여 검출되는 적어도 최대 간섭을 측정하는 것을 또한 포함할 수 있다.
- [0129] 상이한 FMCW 도플러 레이더들(120)로부터 방출되는 FMCW 전자기 테스트 신호들은 일부 실시예들에서 동일하지 않을 수 있지만, 서로에 대해 주파수 오프셋될 수 있다. 예를 들어, 각각의 방출하는 FMCW 도플러 레이더(120)로부터 방출되는 공통 파형을 갖는 FMCW 전자기 테스트 신호는 다른 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각에 의해 각자의 전자기 테스트 신호들에 사용되는 캐리어 주파수를 기준으로 오프셋된 캐리어 주파수를 가질 수 있다.
- [0130] 전송하는 FMCW 도플러 레이더들(120)의 주파수를 그의 피어 레이더들(120)을 기준으로 약간 오프셋하는 것에 의해, 제로 속도(제로 도플러) 정보를 필터링 제거하는, 수신하는 FMCW 도플러 레이더들(120) 내의 임의의 사용되는 클러터 필터들에 따른 문제들이 방지된다. 이러한 오프셋은 작을 수 있으며, 예컨대, 임의의 2개의 FMCW 도플러 레이더(120)에 걸쳐 10% 이하 미만일 수 있다.
- [0131] FMCW 테스트 신호 대안은 전파 시간 지연의 추정을 가능하게 하며; 기본적인 정확도는 각각의 수신하는 FMCW 도플러 레이더(120)가 공통 시간 기준에 얼마나 정확하게 고정(lock)될 수 있는지에 의해 결정된다. 실제 사례들에서 공통 클럭 기준과의 편차들은 0.05마이크로초(약 15m 정도의 편향에 대응함) 정도로 낮을 수 있을 것으로

예상된다.

- [0132] 전파 결정 단계(S2)는 수신하는 레이더인 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)에 대해, 또는 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 하나 또는 서브세트에 대해서만 전파 시간들 및/또는 간섭 크기를 추정하는 것을 포함할 수 있다. 어느 경우든지, 전파 결정 단계(S2)는 현재 상황에 따라, 나중의 시간들에서 동일하거나 상이한 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대해 새로 시작(launch)될 수 있다. 일 예는 새로운 FMCW 도플러 레이더(120)가 시스템(100)에 추가될 때이다. 이 경우에, 시스템(100)에 해당 새로운 FMCW 도플러 레이더(120)를 추가하는 것으로 인해 발생하는 새로운 작동 전체 조건들을 고려하기 위해 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대해 전파 결정 단계(S2)를 수행하는 것이 바람직하다. 이러한 추가는 전체 시스템(100)에 걸쳐 작동 전체 조건들을 변경할 수 있다.
- [0133] 테스트 신호가 FMCW인 경우에, 테스트 신호는 수신하는 레이더들 중 하나 또는 여러 개, 예컨대 모두에서의 수신된 테스트 신호가 그의 필터 통과 대역에 들어가도록 적응될 수 있다. 이는 이제부터 설명될 몇 가지 상이한 방식으로 달성될 수 있다.
- [0134] 이하의 방법론을 사용하여, 구체적으로는 테스트 신호가 피해자 레이더의 수신기 대역폭 내에 들어오도록 설계하는 것에 의해, 다중 경로 환경에서 간섭하는 FMCW 도플러 레이더(120)로부터의 전파 경로 지연이 피해자 FMCW 도플러 레이더(120)에서의 각각의 경로와 연관된 전력 레벨들과 함께 추정될 수 있다.
- [0135] 도 19를 참조하면, 이 맥락에서 중요한 다중 경로 성분들의 추정을 놓칠 위험이 있는 이유를 알 수 있다.
- [0136] 따라서, 도 19는 피해자 레이더의 믹서의 입력에서의 테스트 신호(파선)와 피해자 레이더(실선) 믹서 스위프의 분리를 보여준다. 주요 피해자 스위프의 양쪽에서 $+/-B_v$ 에 위치하는 "점선 스위프들"은 수신기 대역폭 B_v 를 나타낸다. 믹서의 출력에서의(임의의 필터링 이전의) IF 주파수들은 IFL과 IFH이다(2개의 성분이 있을 것임). $T_{vict} - T_{Interf} + \tau_{path}$ 가 변함에 따라, IFL과 IFH도 변할 것이다. 분명히, 다중 경로 성분을 측정하기 위해서는, 테스트 신호 스위프가 점선들에 의해 한정되는 영역 내에 들어오도록, 즉 $IFL < B_v$ (도 19에서는 충족되지 않음)이도록 $T_{vict} - T_{Interf}$ 가 선택되어야 한다.
- [0137] 테스트 신호를 전송하는 레이더에 대한 처프 시퀀스의 시간 오프셋이 피해자(청취하는) 레이더에 의해 사용되는 시간 오프셋과 동일하고 추가로 피해자 레이더에 있는 A/D 변환기(208)가 어떠한 앨리어싱도 무시될 수 있도록 큰 샘플링 주파수를 갖는 것으로 먼저 가정된다.
- [0138] 테스트 신호가 처프 반복 구간 T_{Rep} 를 두고 주기적이므로, 직접 경로 전파 시간 지연 τ 와 거리들의 배수들 cT_{Rep} (단방향 전파)에 대응하는 다중 경로들은 명목상 피해자 레이더에 있는 믹서의 출력에서 동일한 IF 주파수를 생성할 것이다. 이러한 이유는 피해자 레이더가 전송된 처프 i 에 대응하는 직접 경로 성분을 수신할 때, $(\tau + kT_{Rep}, \tau + (k+1)T_{Rep})$ 등의 전파 시간 지연들을 갖는 강력한 다중 경로 성분들이 있는 경우) 이전에 전송된 처프들 $i-1, i-2$ 등이 또한 피해자 레이더에 도달할 것이기 때문이다. 따라서, 임의의 다중 경로 성분으로 인해 (임의의 필터링 이전에) 어쩌면 발생할 수 있는 가능한 가장 높은 IF 주파수는 상한이 $IF_{Max} = \mu T_{Rep}$ 이며, 여기서 μ 는 (공통) 처프율이다.
- [0139] 지연이 증가함에 따라, 들어오는 간섭 처프와 피해자 레이더 믹서 스위프가 점점 더 분리되어, 음의 IF(레이더 필터 설계에 따라 필터링 제거될 수 있는 음의 범위)와 양의 IF(유지됨)를 유발한다는 점에 유의한다. 게다가, 분리가 커질수록 양의 주파수 성분의 전력은 감소한다. 대략적으로, $0.5T_{Rep}$ 만큼의 시간 분리는 양의 주파수 성분의 전력을 3dB만큼 감소시킨다.
- [0140] $f_{IF} = \mu\tau$ 이므로 IF 주파수는 지연에 따라 달라지며, 여기서 τ 는 전파 시간 지연이다. 유한한 샘플링 주파수 F_s 를 고려하면, 관찰될 수 있는 최대 명확한 IF 주파수는 $f_{IF} = \mu\tau \leq 0.5 F_s$ 를 충족시킬 필요가 있다. 이는 (단방향 전파의 경우, $\tau = R/c$) 다음과 같은 최대 범위에 대응한다

수학식 3

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

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

[0141]

[0142]

수신기들의 레이더들 필터 체인(206, 206')의 대역폭은 그의 대역폭이 통과할 최대 관심(특정 추적 응용의 경우) IF 주파수에 대응하도록 설계되었으며 이는 일반적으로 IF_{Max} 보다 훨씬 작으며 도 19를 참조한다. 예로서, 하나의 레이더에서 관심 레인지 구간은 타겟 물체들(10)의 검출의 경우 300m일 수 있고(즉, 양방향 전파). 이는 단방향 전파의 경우 600m로 되는 반면 사용되는 T_{Rsp} 에 대응하는 단방향 거리는, 예를 들면, 16km일 수 있으며, 즉 수신기는 가능한 최대 IF 주파수 IF_{Max} 의 3.75%만을 커버한다.

[0143]

따라서, (즉, 간섭하는 및 피해자 스위프 시작 시간들의 동일하거나 랜덤한 시간 오프셋들을 사용하여) 테스트 신호들을 전송할 때 이 사실이 고려되지 않는 경우, 모든 중요한 다중 경로 성분들이 적절하게 검출되지 않을 수 있다.

[0144]

본 발명자들은, 이하에서 설명되는 바와 같이, 이 문제를 해결하기 위해 적어도 두 가지 접근 방식을 예상하고 있다. 이러한 접근 방식들은 개별적으로 또는 함께 사용될 수 있다.

[0145]

상기 두 가지 접근 방식 중 제1 방식에서, 전송하는 FMCW 도플러 레이더(120)는 테스트 신호 시퀀스를 사용한다.

[0146]

이어서, 각각의 이러한 테스트 신호가 별도의 시간 오프셋을 갖는 경우, 피해자 레이더에서의 유효 겹보기 시간 지연(effective apparent time delay)이 달라질 것이고, 대응하는 해당 믹서(204)의 출력에서의 결과적인 IF 주파수들도 달라질 것이다. 테스트 신호 시퀀스에서 사용되는 (송신기 레이더 시간 오프셋에 대한) 상이한 시간 스텝들이 적절히 설계되는 경우, (어떤 시간 오프셋에 대한) 모든 다중 경로 성분들이 피해자 레이더의 통과 대역 내에 속하도록 보장할 수 있다. 따라서, 각각의 다중 경로 성분의 전력 레벨들과 그의 전파 시간 지연(테스트 신호 시퀀스를 전송하는 레이더에 의해 사용되는 알려진 지연들을 고려함)이 결정될 수 있다.

[0147]

예로서, 모든 수신기 레이더 대역폭들이 동일하고 B_v 로 표시되는 경우가 고려된다. 게다가, 처프들의 대역폭은 B_{Chirp} 로 표시된다. 그러면, 수학식 4에 의해 주어진 다수의 그리드 포인트들을 갖는 테스트 신호들에 대한 시간 오프셋들의 균일한 그리드를 정의할 수 있으며

수학식 4

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

[0148]

[0149]

여기서 k 는 구간 $0 < k \leq 1$ 에서의 튜닝 파라미터이며, 예를 들어 $k = 0.9$ 이고, $[x]$ 는 가장 가까운 정수로 반올림한다.

[0150]

시간 증분은 다음과 같이 설정된다

수학식 5

$$\Delta T = T_{UpChirp}/n$$

[0151]

[0152] 예로서, $B_{Chirp}=40\text{MHz}$ 이고, $B_v=2\text{MHz}$ 이며, $k=0.9$ 인 경우, $\left\lceil \frac{B_{Chirp}}{kB_v} \right\rceil = 23$ 이고, 50마이크로초의 업 스위프, 즉, $T_{UpChirp} = 50 \cdot 10^{-6}$ 을 가정하면, $\Delta T = 2.17 \cdot 10^{-6}$ 이다. 분명히, $\mu = B_{Chirp}/T_{UpChirp}$ 인 경우, 다음과 같으며

수학식 6

$$\begin{aligned} \mu \Delta T &= \frac{B_{Chirp}}{T_{UpChirp}} \frac{T_{UpChirp}}{n} \\ &= \frac{B_{Chirp}}{\left\lceil \frac{B_{Chirp}}{kB_v} \right\rceil} \leq kB_v \end{aligned}$$

[0153]

[0154] 즉, 임의의 피해자 레이더에서의 다중 경로 성분으로 인한 IF 주파수는 2개의 연속 시간 오프셋 사이에서 kB_v 보다 적게 변한다. 이는 (시간 오프셋들이 변함에 따라) 모든 다중 경로 성분들이 검출될 수 있고 대응하는 전파 시간들이 추정될 수 있도록 보장한다.

[0155] 상기 접근 방식들 중 제2 접근 방식에서, 피해자 레이더들은 위치 데이터로부터 도출되는 시간 오프셋들을 사용한다. 이 경우에, 송신기 레이더는 시간 오프셋이 0으로 설정된, "하나의 테스트 신호"(테스트 신호는 전형적으로 다수의 처프들임)만을 송신한다.

[0156] 청취하는 레이더들(피해자 레이더들)은 (자체 레이더와 전송하는 레이더의) 위치 데이터로부터 도출되는 직접 경로 전파에 대응하는 시간 오프셋들(즉, 수신기 레이더가 믹서(204)에 입력되는 그의 기준 파형을 지연시킴)을 사용한다. 명목상, 피해자 레이더에서의 시간 오프셋은 계산된 전파 시간과 동일해야 하며, 수신기 필터 체인(206, 206')에서의 필터 특성들을 감안하기 위해 다소 변경될 수 있다. 그렇지만, 직접 경로 응답이 낮은 IF 주파수를 얻도록, 즉, 가까운 레인지에서 나타나도록 시간 오프셋은 명목 전파 시간에 가까워야 한다.

[0157] 그러면 임의의 중요한 다중 경로 성분이 더 높은 IF 주파수를 갖게(더 먼 레인지들에서 나타나게) 될 것이다. 이러한 방식으로, 검출될 수 있는 직접 경로 지연에 대한 최대 다중 경로 지연(maximum multipath delay relative direct path delay)은 일반 레이더 기능의 레인지 커버리지와 명목상 동일하다. 직접 경로 전파 지연이 알려져 있으므로, 추가적인 다중 경로 전파 시간은 레인지 속도 맵에서 나타나는 다중 경로 성분들과 직접 경로 성분 간의 레인지 차이로부터 계산될 수 있다.

[0158] 전파 결정 단계(S2)는 여러 개의 서브단계들로 분할될 수 있으며, 이 서브단계들은 함께 결정된 상호 간섭 및 전파 경로 지연들에 대한 완전한 그림을 얻도록 배열된다. 이러한 접근 방식에서, 각각의 이러한 서브단계는 하나 또는 여러 개의 전송하는 FMCW 도플러 레이더(120)의 각자의 서브셋을 (동시에 하지 않고 순환하는 것으로) 커버할 수 있으며, 그 다음에는 다음 FMCW 도플러 레이더(120) 세트를 커버하기 위해 전파 결정 단계(S2)의 다음 서브단계가 호출될 때까지 이런 식으로 계속하여 정기적인 레이더 타깃 물체(10) 추적 동작의 시간 구간이 이어진다.

[0159] 마지막으로, 전파 결정 단계(S2)가 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 하나 또는 여러 개가 임의의 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)로부터의 어떠한 간섭도 경험하지 않고 이들에 간섭을 가하지 않는다고 결정하는 경우에, 이러한 레이더들(120)은 추가 고려 대상에서 제외될 수 있다. 어떤 의미에서, 이러한 간섭하지 않는 FMCW 도플러 레이더들(120)은 본 목적들을 위한 시스템(100)의 일부가 아닌 것으로 간주될 수 있다. 이러한 결정은 시간이

지남에 따라 반복하여 또는 반복적으로 수행될 수 있으므로, 동일한 "시스템"에 속하는 레이더들로 간주되는 것이 시간이 지남에 따라 변경될 수 있다.

- [0160] 임의의 전파 결정 단계(S2) 다음에는 동기화 단계들(S4, S5)(아래 참조)이 뒤따를 수 있다.
- [0161] 클록 동기화 단계(S3)에서, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각의 각자의 클록이 동기화될 수 있다. 이러한 동기화는 위에서 설명된 바와 같이, 예컨대 중앙 제어 모듈(110)로부터 브로드캐스트되는 공통 수신된 지오로케이션 신호 또는 공통 수신된 시간 신호에 기초하여 이루어질 수 있다. 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)의 각자의 동기화된 클록은 각자의 스위프 시간 오프셋과 함께 FMCW 스위프(아래 참조)를 트리거하는 데 사용될 수 있다. 클록 동기화 단계(S3)는 연속적으로, 간헐적으로 또는 구체적으로 트리거될 때 발생할 수 있다. 이는 전파 결정 단계(S2) 이전 또는 이후에 발생할 수 있다. 바람직한 실시예들에서, 각각의 전파 결정 단계(S2)를 수행할 때 FMCW 도플러 레이더들(120)에 걸쳐 모든 클록들이 동기화된다.
- [0162] 스위프 시간 오프셋 동기화 단계(S4)에서, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120)의 특정 제1 그룹(121)에 있는 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)에 대해, 상이한 각자의 스위프 시간 오프셋들이 선택된다.
- [0163] 스위프 주파수 오프셋 동기화 단계(S5)에서, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120)의 특정 제2 그룹(122)에 대해 특정 0이 아닌 스위프 주파수 오프셋(여기서는 제2 스위프 주파수 오프셋이라고 표시됨)이 선택된다. 이 제2 스위프 주파수 오프셋은 상기 제1 그룹(121)에 속하는 FMCW 도플러 레이더들(120)에 사용되는 스위프 주파수 패턴을 기준으로 한다. 이 맥락에서, "스위프 주파수 오프셋", "캐리어 주파수 오프셋" 및 "중심 주파수 오프셋"이라는 용어들은 동일한 의미를 가지며 동의어로 해석되어야 한다는 점에 유의한다.
- [0164] 제1 그룹(121)은 상기 제2 그룹(122)과 겹치지 않을(disjoint) 수 있다. 제1 그룹(121)과 제2 그룹(122)은 결합하여 시스템(100)의 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)을 포함할 수 있지만, FMCW 도플러 레이더들(120)의 추가적인 겹치지 않는 그룹들(제3 그룹, 제4 그룹 등)이 또한 있을 수 있으며, 이들은 그러면 함께 시스템(100)의 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)을 구성할 수 있다.
- [0165] 동일한 그룹(예컨대, 제1 그룹(121) 또는 제2 그룹(122))에 속하는 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)이 상이한 스위프 시간 오프셋들과 연관되는 경우가 있을 수 있다. 또한 동일한 그룹에 속하는 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)이 동일한 스위프 주파수 오프셋과 연관되고, 상이한 그룹들에 사용되는 각자의 스위프 주파수 오프셋들이 항상 상이한 경우가 있을 수 있다.
- [0166] 이하로부터 분명해질 것인 바와 같이, 어떤 FMCW 도플러 레이더들(120)이 어떤 그룹에 속해야 하는지가 동적으로, 예를 들어 스위프 시간 오프셋 동기화 단계(S4)의 일부로서 결정될 수 있다. 따라서, FMCW 도플러 레이더들(120)을 그룹들(121, 122)로 이와 같이 구분하는 것은 본 방법의 연속적인 반복들(아래 참조)의 결과로서, 예를 들어, 시스템(100)에서 FMCW 도플러 레이더들(120)을 추가하거나 제거하는 것에 의해 또는 다른 작동 전제 조건들이 변경되는 것에 의해, 시간이 지남에 따라 변경될 수 있다. 이러한 재그룹화는 전파 결정 단계(S2)의 반복과 관련하여 수행되는 것이 바람직하다.
- [0167] 스위프 시간 오프셋 동기화 단계(S4)가 적어도 제1 그룹(121)에 속하는 도플러 레이더들(120)에 대해 수행되지만, 이 단계가 또한 다른 도플러 레이더들(120), 예컨대 제2 그룹(122) 및 임의의 후속하는 그룹(들)에 속하는 도플러 레이더들(120)과 관련하여 수행될 수 있다는 것은 인식하고 있다. 상세하게는, 아래에 예시될 것인 바와 같이, 스위프 시간 오프셋 동기화 단계는, 한 번에 하나의 그룹(121, 122)씩, 반복적으로 수행될 수 있으며, 각각의 이러한 그룹(121, 122)은 이어서 각자의 스위프 주파수 오프셋 동기화 단계를 거친다.
- [0168] 상기 제1 그룹(121)에 속하는 FMCW 도플러 레이더들(120)에 사용되는 상기 스위프 주파수 패턴은 제0 오프셋일 수 있는 "제1" 스위프 주파수 오프셋과 연관될 수 있는 반면, 제2(및 임의의 후속) 그룹(122)에 속하는 FMCW 도플러 레이더들(120)에 사용되는 스위프 주파수 패턴은 후속("제2", "제3" 등) 스위프 주파수 오프셋과 연관될 수 있으며, 각각의 이러한 후속 스위프 주파수 오프셋은 다른 그룹들 각각을 기준으로 0이 아니다.
- [0169] 후속 단계(S6)에서, 각각의 각자의 이러한 FMCW 도플러 레이더(120)를 기준으로 측정되는 바와 같은, 타겟 물체들(10)의 속도, 레인지 및/또는 방향은 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 하나 또는 여러 개에 의해 검출될 수 있다. 이러한 검출은 그 자체로 종래 방식이고 본 명세서에 설명된 방식으로 각각의 개별 FMCW 도플러 레이더(120)에 대해 결정되는 스위프 시간 및 스위프 주파수 오프셋들을 사용하는 방식으로 이루어질 수 있다. 타겟 물체들(10)의 이러한 검출된 속도들, 레인지들 및/또는 방향에 기초하여, 이러한 타겟 물체들(10)의 트랙들이 결정되고 시스템(100)의 사용자에게 디스플레이되거나, 비거리(carry length) 및 공 스핀(ball spin)과 같은 다양한 샷 메트릭들(shot metrics)을 계산하여 보여주는 것과 같이, 임의의 다른 방식으로 사용될 수 있다. 이러

한 검출 및 사용은 그 자체로 잘 알려져 있으며, 본 명세서에서 상술되지 않을 것이다.

- [0170] 후속 단계(S7)에서, 이 방법은 종료된다.
- [0171] 본 방법은 각자의 개별 시간 오프셋들이 FMCW 도플러 레이더들(120)에, 각각의 FMCW 도플러 레이더(120)가 나머지 FMCW 도플러 레이더들(120)을 얼마나 방해하는지에 따라 결정되는 순서로, 하나씩 할당되도록 구현될 수 있다. 아래에서, "격리된" FMCW 도플러 레이더(120)라는 용어가 사용되며, 이는 동일한 그룹(121, 122)에 속하는 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)과 비교하여 적어도, 자체 시간 오프셋을 부여받은 임의의 FMCW 도플러 레이더(120)를 의미한다(예를 들어 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)이 아직 그룹화되었는지에 따라 달라짐). 어떤 의미에서, 이러한 FMCW 도플러 레이더들(120)은, 나머지 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대해 또는 나머지 FMCW 도플러 레이더들(120)로부터 매우 적은 간섭을 생성하거나 감지할 것이기 때문에, 나머지 FMCW 도플러 레이더들(120)로부터 "격리"된다. 이는 아래에서 명확하게 설명될 것이다.
- [0172] 이하에서는, 도 10 내지 도 13과 관련하여, 스위프 시간 오프셋 동기화 단계(S4) 및 스위프 주파수 오프셋 동기화 단계(S5)를 수행하기 위한 방법론의 예가 제공된다.
- [0173] 종종, 공존해야 하는 FMCW 도플러 레이더들(120)의 수가 너무 많아서 모든 레이더들(120)이 상호 간섭 없이 작동할 수 있도록 각각의 이러한 레이더(120)에 시간 오프셋을 할당하는 것이 가능하지 않다. 이 방법론은 서브그룹들 간의 캐리어 주파수 오프셋들을 사용하여 이 문제를 해결한다. 아래에서 상세히 설명되는 바와 같이, 시간 오프셋 선택을 위한 부분 알고리즘(part-algorithm)의 일부로서 이러한 서브그룹들이 결정될 수 있다. 이 경우에, 이 방법론은 모든 레이더들(120)에 대한 각자의 시간 오프셋들이 동일한 서브그룹에 속하는 레이더들(120) 간에 간섭 없는 작동을 가능하게 하도록 이러한 시간 오프셋들을 생성한다.
- [0174] 위에서 설명된 전파 결정 단계(S2)가 해당 수신하는 레이더들(120)의 필터 체인들(206, 206')에서의 감쇠를 고려하지 않고 레이더 간 간섭을 결정하도록 배열될 수 있다는 것은 지적된 바와 같다. 이 경우에, 결정된/추정된 상호 간섭은 IF 주파수에 따라 달라지지 않을 것이다.
- [0175] 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "나머지 시스템들"이라는 용어는 서브그룹에 아직 할당되지 않은(그리고 그의 시간 오프셋들을 아직 수신하지 않은) FMCW 도플러 레이더들(120)을 의미한다.
- [0176] 이하의 추가적인 표기법은 이하에서 사용된다:
- [0177] $\mathcal{S}$: 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)의 세트.
- [0178] δ_i : i 번째 FMCW 도플러 레이더(120) 서브그룹.
- [0179] $\mathcal{S}_{Rem}$: (절차 내의 한 스테이지에서의) 나머지 FMCW 도플러 레이더들(120)의 세트
- [0180] $\mathcal{M}$: 절차에서 사용되는 임시 FMCW 도플러 레이더(120) 세트.
- [0181] n_{is} : (격리된) δ_i 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)의 수.
- [0182] δ : 피해자 FMCW 도플러 레이더(120)의 수신기 필터 체인(206, 206')에 들어가는 대응하는 간섭하는 IF 신호의 지정된 수신기 필터 체인(206, 206') 감쇠에 요구되는 최소 시간 오프셋.
- [0183] T_k : FMCW 도플러 레이더(120) k 에 대한 (알고리즘에 의해 결정되는) 시간 오프셋.
- [0184] T_{Rep} : 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)에 공통인, 처프 반복 구간.
- [0185] τ_{kl} : FMCW 도플러 레이더(120) k 와 FMCW 도플러 레이더(120) l 사이의 전파 시간. $\tau_{kl} = \tau_{lk}$ 에 유의한다.
- [0186] 나머지 FMCW 도플러 레이더들(120)의 세트는 $\mathcal{S}$ 와 지금까지 결정된 모든 서브그룹들 δ_i 전부의 합집합(union)의 차이이며, 수학적으로는 수학식 7에 의해 정의되고

수학식 7

$$\mathcal{S}_{Rem} = \mathcal{S} \setminus \bigcup_i \mathcal{S}_i$$

[0187]

[0188] 여기서 $\bigcup$ 는 합집합(set union)을 나타내고 $\setminus$ 는 차집합(set difference)을 나타낸다.

[0189] 이러한 절차의 상위 레벨 플로차트는 도 9의 일부(단계(S4A) 내지 단계(S4E))로서 도시되어 있는 반면, 이러한 절차의 특정 예에 대한 보다 자세한 플로차트는 도 20에 도시되어 있다. 아래의 설명은 도 9와 도 20 둘 모두를 참조한다.

[0190] 먼저, 단계(S4A)(도 9)에서, 예컨대 각각의 해당 수신하는 FMCW 도플러 레이더(120)의 필터 체인(206, 206') 분석에 기초하여, 적합한 명목 최소 시간 오프셋 δ 가 결정된다. 오프셋 δ 는 해당 FMCW 도플러 레이더(120)의 필터 체인(206, 206')에 의해 대응하는 IF 주파수가 충분히 감쇠되도록, 예를 들면, 적어도 80dB, 또는 심지어 적어도 100dB 감쇠되도록 선택된다. 상이한 FMCW 도플러 레이더들(120)의 수신기 필터 체인들(206, 206')이 동일하지 않은 경우, 상세하게는 이들이 상이한 IF 주파수 감쇠와 연관되어 있는 경우에, 명목 최소 시간 오프셋 δ 는 가장 큰 대역폭을 갖는 FMCW 도플러 레이더(120) 수신기 필터 체인(206, 206')에 기초하여 결정될 수 있다. 대안적으로, 명목 최소 시간 오프셋 δ 는, 어쩌면 간섭하는 FMCW 도플러 레이더들(120)의 쌍들 중 적어도 몇 개, 예컨대 전부에 대해 구체적이고 개별적으로 계산된다는 의미에서, 변수로 취급되어 절차에 통합될 수 있다. 일반적으로, 명목 최소 시간 오프셋 δ 는 고려된 맥락에서 최소 미리 결정된 감쇠를 달성하는 가장 짧은 시간 오프셋으로 선택될 수 있다.

[0191] 공통 기준 시간 소스에 동기화하는 사이의 시간 구간 동안 예상된 클록 드리프트를 감안하여, 특정 추가적인 마진이 명목 최소 시간 오프셋 δ 에 가산될 수 있다. 이 마진의 크기는 사례별로 결정될 것이다. 그렇지만, 전형적으로 상대 클록 드리프트의 두 배에 클록 동기화 구간을 곱한 값을 선택할 수 있다. 예를 들어, FMCW 도플러 레이더(120) m 의 상대 클록 드리프트를 ϵ_m 로 표시하고 FMCW 도플러 레이더(120) n 의 클록 드리프트를 ϵ_n 로 표시하면, δ 에 가산되는 마진은 예를 들어 $(\epsilon_m + \epsilon_n)T_{sync}$ 일 수 있다. GPS가 시간 기준으로 사용되고, $T_{sync} = 1$ 이며 $\epsilon_m = \epsilon_n = 0.1$ ppm(동기화된 FMCW 도플러 레이더(120)의 경우 약간 높을 수 있음)인 것으로 가정하는 경우, 마진은 0.2마이크로초가 된다.

[0192] 일반적으로, 명목 최소 상대 스위프 시간 오프셋 δ 는 다른 FMCW 도플러 레이더(120)로부터의 간섭을 경험하고 있는 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 하나의 IF의 원하는 감쇠를 생성하는(적어도 미리 결정된 감쇠를 생성하는) 최소 스위프 시간 오프셋에 기초하여 그리고 상기 최소 상대 스위프 시간 오프셋, 예를 들어 적어도 이러한 원하는 감쇠를 달성하는 시스템(100) 내의 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)의 쌍들에 걸친 최소의 이러한 스위프 시간 오프셋을 사용하여 결정될 수 있다.

[0193] 최소 상대 스위프 시간 오프셋을 결정하는 것은 전과 결정 단계(S2)의 일부일 수 있으며, 따라서 단계(S2)가 수행될 때마다 수행될 수 있다.

[0194] 이어서, 단계(S4B)에서, 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)은 다른 레이더들에 대한 그의 총 간섭에 기초하여 순위를 부여받을 수 있다. 환언하면, 이 순위 부여는 간섭 순위 부여(interference ranking)이다. 예를 들어, 각각의 특징의 고려되는 간섭하는 FMCW 도플러 레이더(120)로 인한 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)의 각자의 간섭 대 잡음비들의 합이 형성될 수 있다.

[0195] 간섭이 위에서 설명된 바와 같이 결정되는 경우, 이 간섭 순위 부여는 어떠한 필터 체인(206, 206') 감쇠도 전혀 고려하지 않고 수행될 수 있다. 환언하면, 이러한 경우에, 간섭 순위 부여는 각각의 피해자 FMCW 도플러 레이더(120)의 각자의 통과 대역 내에 있는 간섭에만 기초하여 수행된다.

[0196] 따라서, FMCW 도플러 레이더(120)가 δ 내의 나머지 FMCW 도플러 레이더들에 가하는 추정된/결정된 간섭에 기초

하여, 모든 시스템들 $\mathcal{S}$ 의 간섭 순위 부여가 수행된다. 순위 1의 FMCW 도플러 레이더(120)는 제1 서브그룹(121), 즉 $\mathcal{S}_1$ 에 할당되고 제로 시간 오프셋을 할당받는다. 서브그룹 카운터 i 는 1로 설정되고, 나머지 FMCW 도플러 레이더(120)의 세트 $\mathcal{S}_{Rem}$ 은 $\mathcal{S}_{Rem} = \mathcal{S} \setminus \mathcal{S}_1$ 로 설정된다.

- [0197] 일반적으로 이 순위 부여는 "제1" 순위 부여로 표시되고, 순위 부여를 거친 FMCW 도플러 레이더들(120)은 FMCW 도플러 레이더들(120)의 "제1 순위 부여 그룹"으로 표시된다. 여기서 "제1/제2 그룹"과 "제1/제2 순위 부여 그룹" 간의 차이점에 유의한다.
- [0198] 첫 번째 반복에서, 제1 순위 부여 그룹은 시스템(100) 내의 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)을 포함할 수 있다.
- [0199] 더욱이, 제1 순위 부여는 상기 제1 순위 부여 그룹의 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대한 간섭 심각도에 따라, 상세하게는 전파 결정 단계(S2)에서 측정되거나 다른 방식으로 결정된 이러한 데이터에 기준으로 수행될 수 있다.
- [0200] 이어서, 단계(S4C)에서, 제1 순위 부여 그룹 내의 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각에 대해, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 가장 심각하게 간섭하는 것부터 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 덜 심각하게 간섭하는 것들로의 순서로, 각자의 제1 스위프 시간 오프셋이 이미 선택된 제1 순위 부여 그룹 내의 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)을 기준으로 해당 FMCW 도플러 레이더(120)의 상기 결정된 최소 상대 스위프 시간 오프셋 및 전파 시간 지연 둘 모두를 고려하여, 해당 FMCW 도플러 레이더(120)에 대한 각자의 제1 스위프 시간 오프셋이 선택된다. 여기서 "제1 스위프 시간 오프셋"이 제1 순위 부여 그룹에 속하는 FMCW 도플러 레이더(120)에 대해 선택된 스위프 시간 오프셋을 나타낸다는 점에 유의한다.
- [0201] 순위 1의 레이더(모든 다른 레이더들에 가장 많은 간섭을 일으키는 레이더)는 제로 스위프 시간 오프셋과 연관될 수 있으며, 다른 제1 순위 부여 그룹 레이더들(120)은 이 순위 1의 레이더 스위프 시간 오프셋을 기준으로 스위프 시간 오프셋들과 연관될 수 있다.
- [0202] 제1 순위 부여 그룹 내의 다른 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 하나 또는 여러 개는 그러면, 그에 대응하여, 각자의 스위프 시간 오프셋들을 할당받은 제1 순위 부여 그룹의 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대해 간섭 없는 작동을 제공하는 각자의 스위프 시간 오프셋들과 연속적으로 연관될 수 있다. 환언하면, 위의 용어로, 전자의 FMCW 도플러 레이더들(120)은 따라서 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)과 "격리"된다.
- [0203] FMCW 도플러 레이더(120)에 대한 스위프 시간 오프셋의 각각의 이러한 할당 후에, 제1 순위 부여 그룹 내의 임의의 여전히 격리되지 않은 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대해 다른 간섭 순위 부여가 수행될 수 있다. 개별 레이더들을 각자의 스위프 시간 오프셋들과 연관시키는 것에 의한 격리는 간섭 없는 작동 면에서 본 조건들을 충족시키는 스위프 시간 오프셋들을 할당받을 수 있는 FMCW 도플러 레이더들(120)이 제1 순위 부여 그룹에 더 이상 남지 않을 때까지 진행될 수 있다.
- [0204] 나머지 FMCW 도플러 레이더들(120), 환언하면 격리될 수 없는 제1 순위 부여 그룹의 FMCW 도플러 레이더들(120)은 그러면 FMCW 도플러 레이더들(120)의 "제2 순위 부여 그룹"으로 표시되고, 격리된 FMCW 도플러 레이더들(120)은 제1 그룹(121)이 된다. 이어서, 제2 순위 부여 그룹만이 (위의 절차 설명에서 제2 순위 부여 그룹을 제1 순위 부여 그룹으로 사용하는) 제2 실행을 위해 위에 설명된 시간 오프셋 선택으로 보내질 수 있고, 이어서 (제2 순위 부여 그룹 내에서) 서로 격리되도록 서로에 대한 스위프 시간 오프셋들을 얻을 것이다.
- [0205] 그러면 격리된 제2 순위 부여 그룹 멤버들의 스위프 시간 오프셋들은 제2 순위 부여 그룹의 멤버들이 제1 그룹(121)의 멤버들을 방해하도록(또는 제1 그룹(121)의 멤버들에 의해 간섭을 받도록) 될 것이다.
- [0206] 그렇지만, 제1 그룹(121)의 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대한 제2 순위 부여 그룹으로부터의 간섭이 둔감한 타깃 물체(10) 속도 구간들에 위치하도록, 제2 순위 부여 그룹은 이어서 제2 순위 부여 그룹 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)의 캐리어 주파수의 공통(공유) 변경을 도입하는 것에 의해 (간섭 관점에서) 제1 그룹으로부터 분리될 수 있다. 대칭성에 의해, 제2 순위 부여 그룹에 대한 제1 그룹(121)으로부터의 간섭은 그러면 대응하는 음의 타깃 물체(10) 속도 구간들에 위치하게 될 것이다.
- [0207] 보다 일반적으로 말하면, 제2 순위 부여 그룹은, 제1 순위 부여 그룹 내의 하나 또는 여러 개의 FMCW 도플러 레이더(120) 중에서, 타깃 물체(10) 추적 동작 동안 미리 결정된 최소 간섭 레벨을 초래하지 않는 각자의 스위프 시간 오프셋을 선택하는 것이 가능하지 않은 것으로 결정되는 레이더들의 세트로 식별될 수 있다. 일부

경우에, 이는 제2 순위 부여 그룹이 (잠재적으로 유해한 간섭을 방지하기 위한) 각자의 필요한 스위프 시간 오프셋이 임계값, 즉, 최대 허용 값보다 긴 것으로 검출된 상기 제1 순위 부여 그룹 내의 레이더들(120)의 세트로 식별된다는 것을 의미할 수 있다. 이 임계값은 준수되지 않을 경우 스위프 간 간섭의 위험이 있도록 선택될 수 있다.

[0208] 따라서, 제1 순위 부여 그룹 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)을 조사한 후에 격리될 수 없는 FMCW 도플러 레이더들(120)이 있는 경우, 동일한 절차가 한 번 더 수행되지만 스위프 주파수 오프셋 선택(아래에 설명됨)을 위한 준비로서 나머지 FMCW 도플러 레이더들(120)만을 사용하여 수행된다.

[0209] 환언하면, 도 9에 예시된 바와 같이, 단계(S4D)에서, 제2 순위 부여 그룹의 FMCW 도플러 레이더들(120)은 위에서 설명된 제1 순위 부여 그룹의 순위 부여와 유사하게, 간섭 순으로 순위를 부여받는다.

[0210] 따라서, 제2 순위 부여 그룹의 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대한 이러한 순위 부여에서, 순위 부여는 상기 제2 순위 부여 그룹의 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대한 간섭 심각도에 따라 그리고 또한 전파 결정 단계(S2)에서 측정된 데이터에 기초하여 수행된다.

[0211] 그 후에, 단계(S4E)에서, 제2 순위 부여 그룹 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대한 각자의 스위프 시간 오프셋들이, 역시 제1 순위 부여 그룹에 관해 위에서 설명된 것과 유사하게, 결정된다.

[0212] 따라서, 제2 순위 부여 그룹 내의 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각에 대해, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 가장 심각하게 간섭하는 것부터 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 덜 심각하게 간섭하는 것들로의 순서로, 각자의 제2 스위프 시간 오프셋이 이미 선택된 제2 순위 부여 그룹 내의 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)을 기준으로 해당 FMCW 도플러 레이더(120)의 상기 결정된 최소 상대 스위프 시간 오프셋 및 전파 시간 지연 둘 모두를 고려하여, 해당 FMCW 도플러 레이더(120)에 대한 각자의 스위프 시간 오프셋이 선택될 수 있다.

[0213] 위에서 언급된 바와 같이, FMCW 도플러 레이더들(120)의 제1 그룹(121)으로서, 제1 순위 부여 그룹에는 속하지만 제2 순위 부여 그룹에는 속하지 않는 FMCW 도플러 레이더들(120)이 선택될 수 있다. 하나 또는 여러 개의 FMCW 도플러 레이더(120)의 제2 그룹(122)으로서, 제2 순위 부여 그룹에 속하는 FMCW 도플러 레이더들(120)이 선택될 수 있다.

[0214] 이해되는 바와 같이, 이 절차는 재귀적 절차로서 구현될 수 있다.

[0215] 도 20은 다음에 따라, 이러한 절차의 실제 구현을 보다 상세히 예시한다.

[0216] **단계 1:** 시작 시에, $S_{Rem} = S \setminus S_1$ 이고, $i=1$ 이며 S_1 은 S 에서 가장 높은 간섭 순위를 갖는 단일 FMCW 도플러 레이더(120)를 포함한다.

[0217] **단계 2:** "중간 세트" M 은 이를 나머지 FMCW 도플러 레이더들(120)의 세트 S_{Rem} 와 동일하게 설정하는 것에 의해 정의된다.

[0218] **단계 3:** 여기서, 서브그룹 S_i 내의 이미 격리된 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대한 상호 간섭이 방지될 수 있도록 시간상 오프셋될 수 없는 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)이 M 으로부터 제외된다. S_i 내의 모든 이미 격리된 FMCW 도플러 레이더들(120)과 대조하여 M 내의 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각에 대해 검사되는 조건들은 다음과 같으며:

수학식 8

$$T_{21m} \leq T_{22m}$$

[0219]

[0220] 여기서 아래 첨자 m 은 세트 M 내의 m 번째 시스템을 나타내고

수학식 9

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

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

[0221]

[0222] 표기법 $i \in \{1, \dots, n_{is}\}$ 는 서브그룹 δ_i 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)에 걸쳐 최대화가 수행된다는 것을 의미하고, τ_{im} 은 δ_i 내의 FMCW 도플러 레이더(120) i 와 세트 $\mathcal{M}$ 내의 m 번째 FMCW 도플러 레이더(120) 사이의 전파 시간이다. 이 조건을 충족시키지 않는 $\mathcal{M}$ 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)은 $\mathcal{M}$ 으로부터 제외된다.

[0223] 도 10을 간략히 참조하여, 도 20에 도시된 플로차트로 돌아가기 전에 본 절차에서 사용될 수 있는 시간 오프셋 제약 조건들이 이제부터 논의될 것이다.

[0224] 상세하게는, 도 10은 제1 그룹(121) 또는 제2 그룹(122)과 같은, 특정 서브그룹에 대한 시간 오프셋들의 개별 결정을 예시한다.

[0225] 단순함을 위해, 여기서의 설명은 2개의 FMCW 도플러 레이더(120)의 특수한 경우를 고려하는 것으로 시작될 것이며 따라서 현재 서브그룹 내의 이전에 격리된 FMCW 도플러 레이더들(120)의 수는 1이며, 즉 $n_{is} = 1$ 이다. $n_{is} > 1$ 이라는 일반적인 경우에 대한 요구 사항들은 단순히 아래에 도출된 요구 사항들이 n_{is} 개의 이전에 격리된 FMCW 도플러 레이더(120) 모두에 대해 성립해야 한다는 것이다. 그 경우는 아래에서 다루어질 것이다.

[0226] 번호 1을 갖는 FMCW 도플러 레이더(120)에 시간 오프셋 T_1 이 할당되었다고 가정한다(이는 격리되어 있다고 말해진다). 이어서, FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2의 시간 오프셋 T_2 및 T_2 를 어떻게 선택할지에 관한 제약 조건들이 탐구된다. 첫째로, T_2 는 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 1 또는 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2 중 어느 것도 어떠한 간섭도 경험하지 않도록 선택되어야 한다.

[0227] 도 10에 예시된 바와 같이 4개의 제약 조건 A, B, C, D가 언급될 수 있다. 도 10의 상부 부분은 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 1("시스템 1") 및 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2("시스템 2")에 대한 파형들의 상대 타이밍을 (FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2에 대한 임의의 전파 시간 지연 τ 및 시간 오프셋 T_2 에 대한) FMCW 도플러 레이더(120) 번호 1의 위치에 나타낸다. 유사하게, 도 10의 하부 부분은 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 1 및 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2에 대한 파형들의 상대 타이밍을 (FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2에 대한 임의의 전파 시간 지연 τ 및 시간 오프셋 T_2 에 대한) FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2의 위치에 나타낸다.

[0228] 굵은 파선으로 예시된 스위프 시퀀스는 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 1에 속하고, 굵은 실선으로 예시된 스위프 시퀀스는 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2에 속한다. 더 두꺼운 스위프 선과 동일한 스타일의 더 가는 선은 IF 주파수에 대한 "최소 분리 제약 조건"을 나타내며, 즉, 다른 FMCW 도플러 레이더(120)로부터의 스위프는 더 가는 선 중 어느 것보다 더 가까워서는 안 된다.

[0229] 이제, 최소 IF 주파수 분리를 Δf_{min} 로 표시하고; 수신기 레이더(120) 필터 체인(206, 206')이 Δf_{min} 에서 지정된 감쇠를 갖도록 결정된다. 따라서 여기에서는, 레이더(120)들이 타겟 물체들(10)에 대해 탐구되는 상이한 레인지 구간들을 갖는다는 것에 대응하여 상이한 차단 주파수들을 갖는 상이한 수신기 필터 체인들(206, 206')을 허용하는 것이 간단함에도 불구하고, 동일한 필터 체인들(206, 206')을 갖는 동일한 FMCW 도플러 레이더들(120)이 가정된다. 또한, 파형들이 (시간 및 캐리어 주파수 오프셋들을 제외하고) 일치하는 것으로 가정된다.

[0230] 명목 최소 시간 오프셋 δ 와 최소 IF 주파수 분리 Δf_{min} 사이의 관계는 다음과 같고,

수학식 10

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

[0231]

[0232] 여기서 μ 는 처프율이다.

[0233] 도 10의 상부 부분에 언급된 제약 조건 A와 제약 조건 B는 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2가 이미 격리된 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 1을 방해해서는 안 된다는 요구 사항에 관련이 있다. 제약 조건 A는 "좌측 제약 조건"이라고 지칭되고, 제약 조건 B는 "우측 제약 조건"이라고 지칭된다. 제약 조건 A는 T_2 가 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 1에 간섭을 일으키지 않을 만큼 충분히 크게 선택되어야 한다는 것이다. 제약 조건 B는 T_2 가 너무 크게 선택되어서는 안 된다는 것인데, 그 이유는 그러면 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2의 처프가 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 1의 다음 처프에 접근하여 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 1에 간섭을 일으킬 것이기 때문이다.

[0234] 도 10의 하부 부분에 언급된 제약 조건 C와 제약 조건 D는 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 1이 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2를 방해해서는 안 된다는 요구 사항에 관련이 있다. 제약 조건 C는 "좌측 제약 조건"이라고 지칭되고, 제약 조건 D는 "우측 제약 조건"이라고 지칭된다. 제약 조건 C 및 제약 조건 D는 제약 조건 A 및 제약 조건 B와 유사하지만 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2의 관점에서 본 것이다(FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2는 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 1로부터의 간섭을 경험해서는 안 된다).

[0235] 제약 조건들은 다음과 같다:

수학식 11

$$\text{A: } T_2 \geq T_1 + \delta - \tau$$

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

$$\text{C: } T_2 \geq T_1 + \tau + \delta$$

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

[0236]

[0237] “ $\geq$ ” 제약 조건들 A와 C를 함께 고려하고 “ $\leq$ ” 제약 조건들 B와 D를 함께 고려하면, 각각의 쌍 중 “가장 어려운(hardest)” 것이 선택된다. τ 가 양수이기 때문에, 제약 조건 C는 제약 조건 A보다 어렵다. 동일한 이유로, 제약 조건 B가 제약 조건 D보다 어렵다는 것을 알 수 있다. 따라서, FMCW 도플러 레이더(120) 번호 1과 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2 사이의 간섭 없는 작동을 보장하는 최종 제약 조건들은 다음과 같다

수학식 12

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

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

[0238]

[0239] 이미 격리된 여러 개의 FMCW 도플러 레이더(120)가 있는, 즉 $n_{is} \geq 1$ 인 일반적인 경우에, 수학식 12에 정의된 제약 조건들은 n_{is} 개의 FMCW 도플러 레이더(120) 모두에 대해 성립해야 한다.

[0240] $\tau_i, i = 1, 2, \dots, n_{is}$ 는 FMCW 도플러 레이더(120) 번호 2(오프셋을 결정해야 할 FMCW 도플러 레이더(120))와 이전에 격리된 FMCW 도플러 레이더들(120)의 서브세트 내의 i 번째 FMCW 도플러 레이더(120) 사이의 전파 시간 지연으로 정의되고(전파 시간 지연들은 다중 경로의 경우에도 대칭임) T_i 는 i 번째 격리된 FMCW 도플러 레이더(120)의 시간 오프셋(위의 수학식들에서 T_1 파라미터를 대체함)을 나타낸다. 새로운 FMCW 도플러 레이더(120)의 시간 오프셋에 대한 표기법 T_2 는 유지된다. 더욱이,

수학식 13

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

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

[0241]

[0242] 따라서, $T_2 \geq T_{21}$ 이고 $T_2 \leq T_{22}$ 인 한, 작동은 간섭이 없을 것이다. 대부분의 실제 응용들에서, 전파 시간 지연들 τ_i 및 최소 시간 오프셋 δ 이 T_{Rep} 보다 훨씬 더 작다는 점에 유의한다. 이는 절차의 시작 ($n_{is}=1$)에서, $T_{21} \ll T_{22}$ 임을 암시한다.

[0243] 이제 시간 오프셋들을 반복적으로 선택하는 방법을 설명할 수 있다. 따라서, n_{is} 개의 격리된 FMCW 도플러 레이더(120)가 주어지면, 조건 $T_{21} \leq T_{22}$ 를 검사한다. 참인 경우, 새로운 FMCW 도플러 레이더(120)에 대한 시간 오프셋은 $T_2 = T_{21}$ 로 선택되고 간섭 없는 작동을 보장할 수 있다. 그렇지 않고, $T_{21} > T_{22}$ 인 경우, (T_2 에 대응하는) 고려 중인 현재 FMCW 도플러 레이더(120)는 세트 $\{1, \dots, n_{is}\}$ 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대한 상호 간섭 없이 작동하도록 시간상 오프셋될 수 없다. 그렇다면, 해당 FMCW 도플러 레이더(120)는 현재 서브그룹 내의 이미 격리된 FMCW 도플러 레이더들(120)과 관련하여 격리될 수 없는 FMCW 도플러 레이더들(120) 풀로 이전되고 현재 서브그룹에 대한 향후 반복들로부터 제거된다. 이러한 FMCW 도플러 레이더(120)는 결국 다른 서브그룹의 멤버가 될 것이다.

[0244] 단계 4: 이 단계에서, 절차는 $\mathcal{M}$ 이 비어 있는지를 검사한다. 그렇지 않은 경우, 절차는 단계 5로 점프하고, 그렇지 않으면 단계 8로 점프한다.

[0245] 단계 5: 이 단계에서, $\mathcal{M}$ 내의 FMCW 도플러 레이더(120)가 $\mathcal{M}$ 내의 나머지 FMCW 도플러 레이더들(120)에 가하

는 간섭에 기초하여, $\mathcal{M}$ 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)의 순위 부여가 수행된다. 따라서 이는 위에서 논의된 타입의 "간섭 순위 부여"이다. 예를 들어, 간섭하는 FMCW 도플러 레이더(120)로 인한 다른 FMCW 도플러 레이더들(120)의 간섭 대 잡음비들을 합산할 수 있다.

[0246] **단계 6:** 단계 4에 의해 결정되는 인덱스 $\tilde{m}$ 로 아래에 표시되는, $\mathcal{M}$ 내의 가장 높은 순위의 FMCW 도플러 레이더(120)는 위에서 상술된 방식으로 $T_{\tilde{m}} = T_{21\tilde{m}}$ 와 같이 시간 오프셋을 부여받는다. 이 FMCW 도플러 레이더(120)는 이제 서브그룹 $\mathcal{S}_i$ 내의 임의의 FMCW 도플러 레이더(120)에 의한 간섭을 받지 않고 작동할 수 있거나 그 FMCW 도플러 레이더(120)에 간섭을 일으킬 수 있도록 하는 자체 시간 오프셋을 받았다. 인덱스 $\tilde{m}$ 에 의해 정의되는 FMCW 도플러 레이더(120)는 따라서 세트 $\mathcal{M}$ 으로부터 세트 $\mathcal{S}_i$ 로 이동되고 n_{is} 는 1만큼 증가된다.

[0247] **단계 7:** 이 단계에서, $\mathcal{M}$ 이 비어 있는지가 검사된다. 그렇지 않은 경우, 절차는 단계 3으로 점프하여 단계 3 내지 단계 6을 반복한다. 결국, $\mathcal{M}$ 은 비어 있게 될 것이고 절차는 단계 8에 도달한다.

[0248] **단계 8:** 이 단계에서, $\mathcal{S}_{Rem}$ 은 $\mathcal{S}_{Rem} = \mathcal{S}_{Rem} \setminus \mathcal{S}_i$ 로 설정하는 것에 의해 업데이트되며, 즉, 이제 정의된 서브그룹 $\mathcal{S}_i$ 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)이 $\mathcal{S}_{Rem}$ 으로부터 제거된다.

[0249] **단계 9:** 이 단계에서, $\mathcal{S}_{Rem}$ 이 비어 있는지가 검사된다. 만약 그렇다면, 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)은 각자의 서브그룹에 할당되었고, FMCW 도플러 레이더(120)가 그의 서브그룹 내의 임의의 다른 FMCW 도플러 레이더(120)에 간섭을 일으키거나 그 FMCW 도플러 레이더(120)로부터의 간섭을 경험하지 않고 작동할 수 있도록, 시간 오프셋을 부여받았다. 이러한 경우에, 절차는 종료되고(단계 11로 점프하고), 그렇지 않으면 단계 10으로 이동한다.

[0250] **단계 10:** 여기서, 서브그룹 인덱스 i 는 1씩 증가된다($i = i + 1$). $\mathcal{S}_{Rem}$ 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)의 간섭 순위 부여가 수행되고 순위 1의 FMCW 도플러 레이더(120)는 (이제 이 단일 멤버만을 포함하는) 새로운 서브그룹 i , $\mathcal{S}_i$ 에서 첫 번째 FMCW 도플러 레이더(120)(멤버)로 배치된다. 이 FMCW 도플러 레이더(120)는 제로 시간 오프셋을 할당받는다. 새로운 "중간 세트" $\mathcal{M}$ 은 나머지 FMCW 도플러 레이더들(120)의 세트 $\mathcal{S}_{Rem}$ 에서 $\mathcal{S}_i$ 내의 결정된 순위 1의 FMCW 도플러 레이더(120)를 뺀 것과 동일하게 설정하는 것, 즉 $\mathcal{M} = \mathcal{S}_{Rem} \setminus \mathcal{S}_i$ 로 설정하는 것에 의해 정의된다. 이어서 절차는 단계 3으로 점프하여 단계 3 내지 단계 9를 반복한다.

[0251] **단계 11:** 이는 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)이 각자의 서브그룹에 할당되었고, FMCW 도플러 레이더(120)가 그의 서브그룹 내의 임의의 다른 FMCW 도플러 레이더(120)에 간섭을 일으키거나 그 FMCW 도플러 레이더(120)로부터의 간섭을 경험하지 않고 작동할 수 있도록, 시간 오프셋을 부여받은 최종 상태이다.

[0252] 단계 5에서 수행되는 반복적인 간섭 순위 부여의 이유는 ("격리"되었을 때 그럴 수 있는 것처럼) FMCW 도플러 레이더(120)가 고려 대상에서 제외될 때 나머지 FMCW 도플러 레이더들(120) 사이의 순위 부여 순서가 전형적으로 변경되기 때문이다. 따라서, 격리 절차의 각각의 반복에서 간섭 순위 부여를 다시 수행하는 것에 의해, 시간 오프셋들을 효과적인 방식으로 사용하여, 간섭 관점에서 "최악"의 FMCW 도플러 레이더(120)가 격리된다.

[0253] 이상으로부터 명확한 바와 같이, 서브그룹 내의 FMCW 도플러 레이더들(120) 간의 상호 간섭이 이제 적합한 시간 오프셋들을 정의하는 것에 의해 완화되었다. 그렇지만, FMCW 도플러 레이더들(120)의 서브그룹들(예컨대, 제1 그룹(121) 및 제2 그룹(122)) 사이에는 상당한 간섭이 있을 수 있다. 이는 아래에 설명된 바와 같이, 다른 서브그룹들의 캐리어 주파수들과 관련하여 한 서브그룹 내의 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각의 캐리어 주파수의 공통 변경을 도입하는 것에 의해 완화될 수 있다. 바람직하게는, 이러한 캐리어 주파수 오프셋들은 서브그룹들 간의 간섭이 중요하지 않은 속도 영역들에 위치하도록 선택된다.

[0254] 그렇지만, 캐리어 주파수 오프셋의 선택에 대해 보다 상세히 설명하기 전에, 도 11에 도시된 바와 같은 FMCW 도플러 레이더들(120)의 레이아웃에 기초하여 스위프 시간 오프셋 선택을 예시하는 예가 제공된다. 이 도

11에서, 지정된 피해자 FMCW 도플러 레이더(120)(번호 1)는 (0,0)에 위치하고 있다. 19개의 간섭하는 FMCW 도플러 레이더(120)가 레인지 및 각도 방향들에 걸쳐 분산되어 있다. 도 11에서의 뷰는 위쪽에서 본 것이며 안테나 좌표계의 축은 개별 FMCW 도플러 레이더들(120)의 위치들에 그려져 있다.

[0255] 위에서 설명된 절차를 수행한 후에, 격리된 FMCW 도플러 레이더들(120)의 수는 13개(제1 그룹(121))였다. 게다가, 제1 그룹(121)에 대한 스위프 시간 오프셋들이 아니라 서로에 대한 스위프 시간 오프셋들을 할당받은 7개의 FMCW 도플러 레이더(120)(제2 그룹(122))이 있었다. 도 12a와 도 13a(확대된 버전)에서는, 제1 그룹(121)에 속하는 격리된 FMCW 도플러 레이더들(120)의 모든 쌍들에 대한 결과적인 IF 주파수들이 플로팅되어 있다. 도 13a를 살펴보면, 이제 설명될 것인 바와 같이, 제1 그룹(121) 내의 격리된 FMCW 도플러 레이더들(120)이 서로를 방해하지 않는다는 것은 분명하다.

[0256] 보다 상세하게는, 도 12a(및 확대된 도 13a)는 제1 그룹(121) 내의 상기 격리된 FMCW 도플러 레이더들(120)의 모든 쌍별 IF 주파수들을 보여준다. 근처의 파선 수평선은 수신기 대역폭과 모든 간섭하는 IF 성분들이 적어도 115dB로 감쇠되도록 결정된 마진을 나타낸다.

[0257] 도 12b와 도 13b는 도 12a와 도 13a에 대응하지만, 제2 그룹(122)에 대한 상황을 보여준다.

[0258] 위의 내용 중 일부를 요약하면, 일단 제1 순위 부여 그룹 내의 모든 가능한 FMCW 도플러 레이더들(120)에 대한 개별 고유 스위프 시간 오프셋들이 결정되면, 이러한 격리된 FMCW 도플러 레이더들(120)의 그룹은 따라서 위에서 사용된 용어로 "제1 그룹"(121)이 된다. 이 시점에서, 제2 순위 부여 그룹 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)이 고려되며, 이 제2 순위 부여 그룹 내의 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)이 개별 그룹 고유 스위프 시간 오프셋들을 할당받는 경우, 이들은 위의 용어로 "제2 그룹"(122)을 형성한다. 이제 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)을 그룹들(121, 122)에 할당하는 것이 완료된다. 그렇지만, 이 시점에서 제1 그룹(121) 또는 제2 그룹(122) 중 어디에도 할당되지 않은 FMCW 도플러 레이더들(120)이 여전히 있는 경우에, 절차는 제3(및 어쩌면 후속) 순위 부여 그룹을 구성하기 위해 계속된다. 따라서, 나머지 FMCW 도플러 레이더들(120)은 제3 순위 부여 그룹을 형성하고, 절차는 위에서 설명된 바와 같이 대응하는 방식으로 또다시 반복된다. 현재 고려되는 순위 부여 그룹의 특정 최대 수의 FMCW 도플러 레이더들(120)이 그룹 고유 스위프 시간 오프셋들을 할당받을 수 있다고 결정될 때마다, 해당 순위 부여 그룹의 FMCW 도플러 레이더들(120)은 위의 용어로 다음 그룹을 형성하며; 절차는 시스템(100)의 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)이 그룹에 할당될 때까지 계속된다.

[0259] 일단 상기 제1 및 제2 그룹들(121, 122)(및 경우에 따라, 임의의 추가적인 그룹들)이 형성되고 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)이 그룹 고유 스위프 시간 오프셋들과 연관되면, 단계(S4)가 완료된다.

[0260] 그렇지만, 도 9에 예시된 바와 같이, 스위프 주파수 오프셋 동기화 단계(S5)는 단계(S4)와 임의의 시간 관계로 이루어질 수 있다(실제로, 단계들(S3, S4 및 S5)의 경우가 그렇다). 따라서, 단계(S5)는 단계(S4)보다 먼저 또는 단계(S4)와 병렬로, 또는 단계(S4)의 완료 후에 수행될 수 있다. 또한, 단계(S4)에서 식별된 다양한 그룹들(121, 122)에 대해 미리 결정된 주파수 오프셋 세트가 사용되는 경우가 있을 수 있으며, 따라서 단계(S5)에서의 스위프 주파수 오프셋들의 동기화는 상기 식별된 그룹들(121, 122) 각각을 상기 미리 결정된 스위프 주파수 오프셋 세트로부터의 각자의 고유한 스위프 주파수 오프셋과 연관시키는 것에 불과하다.

[0261] FMCW 도플러 레이더들(120)의 제1 그룹(121)의 관심 타겟 물체(10) 거리 구간들 내부에서의 강한 국한된 간섭의 위험을 피하기 위해(캐리어 주파수들이 명목상 동일할 때 해당 간섭은 낮은 속도들에 위치함), 시스템(100)이 타겟 물체들(10)을 정확하게 검출하고 추적하는 능력에 영향을 미치지 않는 속도 영역들에 간섭을 위치시키도록 FMCW 도플러 레이더들(120)의 제2 그룹(122)의 캐리어 주파수들(스위프 중심 주파수들)이 조정(감소 또는 증가)될 수 있다. 이러한 속도 영역들이 상이한 실제 실시예들에 따라 달라질 수 있다는 것이 이해된다. 타겟 물체들(10)이 골프공인 특정 경우에, 간섭은 (그룹들(121, 122)에 걸쳐 적절한 스위프 주파수 오프셋을 선택하는 것에 의해) 0m/s 미만, 또는 심지어 -35m/s 미만; 및/또는 적어도 80m/s 초과, 또는 심지어 적어도 100m/s 초과의 검출된 속도들로 국한될 수 있다.

[0262] 2개의 그룹(121, 122)만 있는 특별한 경우에, 제2 그룹(122)의 캐리어/중심 주파수는 제1 그룹(121)에 비해 처프 반복 주파수의 절반만큼 증가(또는 감소)될 수 있다. 이러한 방식으로, 제1 그룹(121) 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)이 경험하는 간섭은 가장 낮은(또는 가장 높은) 명확한 속도들로 이동되며, 이는 많은 실시예들에서 어떠한 해로운 간섭도 생성하지 않는다. 보다 구체적으로, 제2 그룹(122)에 의해 제1 그룹(121)에 생성된 간섭을 가장 낮은 명확한 속도 성분(음수 측)으로 이동시키기 위해, 제2 그룹(122) 내의 FMCW 도플러 레이더들(120)의 공통 캐리어 주파수가 양 $\Delta_{HF} = 0.5/T_{Rep}$ (양의 천이(positive shift)를 선택함)만큼 주파수 천이된다.

이러한 캐리어 주파수 천이는 레이더 처리에서 (양의) 도플러 천이로 해석될 것이며, 이는 (위에서 설명된 바와 같이) 음의 속도에 매핑될 것이다. 대칭성에 의해, 제2 그룹(122)에 대한 제1 그룹(121)으로부터의 간섭이 대응하는 양의 속도 구간들에 위치하게 될 것임에 유의한다.

[0263] 다른 실시예들에서, 대응하는 크기들의 스위프 주파수 천이들을 도입하는 것에 의해, 간섭을 임의의 속도 값들로 유도(guide)하기 위해 캐리어 주파수 선택이 수행될 수 있다.

[0264] 일반적으로, 위에서 설명된 바와 같이 스위프 주파수 오프셋들을 사용하여 상이한 그룹들(121, 122)에 걸쳐 오프셋들의 속도를 오프셋하는 것은, (스위프 주파수 오프셋들의 대응하는 선택에 의해) 문제가 없는 물체(10) 추적 속도 구간들에 위치할 수 있을 뿐만 아니라, 잘못된 물체(10) 검출이 발생하지 않는다. 이러한 속도 천이(velocity shifting)는 또한 주파수가 천이되지 않은 경우에 간섭 생성 속도(velocity-producing interference)를 포함하거나 이에 가까운 속도 구간들에서 실제 물체(10)을 추적하기 위한 감도를 증가시킬 수 있다.

[0265] 따라서, 상기 그룹들(121, 122) 중 하나 또는 여러 개, 예컨대 그 각각에 대한 각자의 스위프 주파수 오프셋은 상기 제1 그룹(121)에 속하는 FMCW 도플러 레이더들(120)과 상기 제2 그룹(122)에 속하는 FMCW 도플러 레이더들(120) 간의 간섭으로 인해 추적되는 물체(10) 속도 오프셋들 또는 미리 결정된 속도 범위를 벗어나는 검출 감도 저하가 발생하도록 충분히 크게 선택될 수 있다. 상세하게는, 스위프 주파수 오프셋은 상기 복수의 FMCW 도플러 레이더들(120)에 의해 사용되는 스위프 반복 주파수의 0.3배 내지 0.7배, 예컨대 0.4배 내지 0.6배, 예컨대 약 0.5배 또는 정확히 0.5배로 선택될 수 있다.

[0266] 본 명세서에 설명된 방법론들에 따라 식별되는 3개 이상의 이러한 FMCW 도플러 레이더(120) 그룹이 시스템(100)에 있는 경우에도 모든 식별된 그룹들(121, 122 등)에 대해 이러한 스위프 주파수 천이들이 도입될 수 있다는 것이 이해된다. 제1 그룹(121)은 "제로" 스위프 주파수 천이를 할당받을 수 있는 반면 다른 그룹들(제2 그룹(122) 및 임의의 후속 그룹)은 다양한 고유한 0이 아닌 스위프 주파수 천이들을 할당받을 수 있다. 중요한 점은 이러한 2개의 그룹(121, 122)이 동일한 상대 스위프 주파수 천이를 갖지 않지만, FMCW 도플러 레이더들(120)의 모든 이러한 그룹들(121, 122)이 각자의 스위프 주파수 천이들과 연관되어 해당 응용에 문제가 없는 타깃 물체들(10)에 그룹 간 간섭이 나타난다는 것이다.

[0267] 상기 동기화 단계들(S3, S4, S5) 이후, 후속하는 타깃 물체(10) 검출 단계에서, 시스템(100)은 시스템(100)의 복수의 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 여러 개를 사용하여, 각자의 측정하는 FMCW 레이더(120)를 기준으로, 하나 또는 여러 개의 이동 타깃 물체(10)의 각자의 위치 및 속도를 측정할 수 있다. 이 측정은, 상기 선택된 각자의 스위프 시간 오프셋 및 상기 선택된 각자의 스위프 주파수 오프셋을 사용하여 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 중 일부 또는 그 각각이 FMCW 스위프들을 반복적으로 방출하는 것에 의해, 자체의 종래의 방식으로 이루어질 수 있다.

[0268] 위에서 언급된 바와 같이, 복수의 FMCW 도플러 레이더들(120)은, 예컨대 하나 초과 수신 레이더 안테나(202)를 사용하여, 검출된 타깃 물체(10)로의 방향을 검출할 수 있는 하나 또는 여러 개의 FMCW 도플러 레이더(120)를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 여러 개의 상이한 FMCW 도플러 레이더(120)는 하나의 동일한 타깃 물체(10)를 동시에, 그러나 상이한 각도들로부터 검출하거나 추적한다.

[0269] 또한 앞서 언급된 바와 같이, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120) 각각에 의해 사용되는 각자의 스위프 파형은, 해당 FMCW 도플러 레이더(120)에 의해 사용되는 상기 각자의 스위프 시간 오프셋 및 스위프 주파수 오프셋을 제외하고는, 상기 FMCW 도플러 레이더들(120)에 걸쳐 동일할 수 있다. 따라서, 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)에 의해 사용되는 파형들은 동일한 처프율 및/또는 동일한 지속시간 및/또는 동일한 대역폭을 가질 수 있는 동일한 선형 FMCW 파형일 수 있다.

[0270] 도 9에 예시된 바와 같이, 전파 결정 단계(S2), 스위프 시간 오프셋 동기화 단계(S4) 및 스위프 주파수 오프셋 단계(S5)는 반복적으로, 예컨대 주기적으로 및/또는 시스템(100)에 추가적인 FMCW 도플러 레이더(120)를 추가할 때 또는 시스템(100)에 임의의 다른 구성 또는 토폴로지 업데이트 또는 변경을 할 때 수행될 수 있다. 클록 동기화 단계(S3)도 반복적으로/간헐적으로 수행될 수 있다.

[0271] 예를 들어, FMCW 도플러 레이더들(120)은 일반적으로 한 번에 하나씩 배포되어 네트워크에 연결된다. FMCW 도플러 레이더(120)가 활성화되어 공통 시간 기준 소스에 고정될 때, FMCW 도플러 레이더(120)는, 어떤 특수 목적 파형(위의 테스트 신호 파형)을 사용하여 그의 TX 기능을 작동(engage)시키기 위해 또는 다른 협력하는 FMCW 도플러 레이더(120)의 테스트 신호 전송을 청취하기 위해, 예컨대 중앙 제어 모듈(110)로부터 또는 해당 레이더

(120)의 사용자 인터페이스를 통한 설치하는 사용자로부터 큐 메시지(que message)를 기다리도록 배열될 수 있다. 환언하면, 이 큐 메시지는 그러면 위에 설명된 동기화 단계들(S3, S4, S5)의 시작을 정의하는데, 이 단계들은 그러면 시스템(100)에 이미 존재하는 여러 개 또는 심지어 모든 FMCW 도플러 레이더들(120)을 참여시킬 수 있다.

[0272] 동기화 단계들(S3, S4, S5)은 또한 또는 대신 시스템(100)에서의 상호 간섭 및 FMCW 도플러 레이더들(120) 간의 전파 시간 지연들을 평가하고 위에서 예시된 바와 같이 적절한 조치를 취할 목적으로, 정기적으로(on a regular time basis) 수행될 수 있다. 동기화 단계들(S3, S4, S5)은 그렇게 하는 것이 요구될 때, 작동 전체 조건들에 영향을 미치는 어떤 파라미터 값의 변경의 자동 검출 또는 시스템(100)의 사용자에게 의한 수동 트리거에 기초하여, 수행될 수 있다.

[0273] 이하에서는, 도 14 내지 도 17과 관련하여, 시스템(100)의 FMCW 도플러 레이더들(120)을 조정하지 않는 경우 피해자 레이더(120)에 대한 레인지-속도 응답이 어떻게 보일 수 있는지와 대신 위에서 설명된 절차를 사용하여 조정이 적용되는 경우 레인지-속도 응답이 어떻게 보일 수 있는지를 보여주는 예가 제시된다.

[0274] 도 11에 도시된 시나리오가 사용된다. 위에서 설명된 바와 같이, 이는 20개의 FMCW 도플러 레이더(120)를 포함하며, 그 중 하나는 "피해자 레이더"(원점에 있는 레이더)로 지정된다. 이 레이더에 대해 간섭 경험은 이제 레인지-속도 도메인에서 보여질 것이다. 본 예의 데이터는 명확함과 단순함을 위해, 단순화된 시스템(100)의 시뮬레이션으로부터 도출된다.

[0275] 간섭하는 FMCW 도플러 레이더까지의 최대 거리(레인지)는 756m이다. 파형이 일치하는 경우, 시간 오프셋이 0이라고 가정할 때, IF 주파수는 신호 처리에서 이 거리의 절반, 즉 약 378m에서 포인트 응답을 생성할 것이다. 피해자 레이더(및 그 문제에 대해 모든 레이더들)의 수신기 대역폭은 대응하는 -3dB 레인지가 304m이도록 되어 있다. 이를 고려하여, 모든 레이더들이 그의 처프 시퀀스들에 대해 제로 시간 오프셋을 사용할 경우, 약 610m 보다 더 먼 레인지들에 있는 레이더들이 피해자의 수신기 체인에 있는 필터들에 의해 점점 더 감쇠될 것이라는 점에 유의한다. (피해자를 제외하고) 610m 미만의 레인지를 갖는 14개의 간섭하는 레이더가 있다. 게다가, (양방향 전파를 가정할 때) 115dB의 감쇠가 존재하는 IF 값에 대응하는 레인지는 400m이고, 이는 (간섭에 대한) 단방향 전파에 대해서는 800m로 변환된다. 따라서, "-3dB 레인지" 내에 14개의 레이더가 있지만 모든 레이더들은 "-115dB 레인지" 구간 내에 있다. "전역 대역"(610 내지 800m)에 있는 19-15=4개의 레이더는 그의 실제 IF 주파수들 및 수신기의 전달 함수의 세부 특성들에 따라 다양한 정도들로 감쇠될 것이다. 이 논의에서, 자유 공간 감쇠의 효과가 무시되므로, 실제 상황에서는 먼 레인지에 있는 레이더들이 추가적인 상당한 상대 댐핑(relative damping)을 가질 것이다. 그 외에, 레이더들은 출력 전력, 안테나 이득 등이 동일하며, 모든 간섭원들은 피해자 레이더를 정면으로 향하고 있다.

[0276] 게다가, 이러한 시뮬레이션들에서, 피해자 레이더에 열 잡음이 추가되었다. 간섭하는 레이더들에 의해 생성되는 간섭 대 잡음비는 전송 및 수신 시의 안테나 이득, 상이한 손실들 등을 포함하여, 레이더 방정식을 통해 정확하게 모델링되었다.

[0277] 먼저, 조정되지 않은 사례를 살펴보면, 모든 스위프 시간 오프셋들이 0으로 설정되었다. 이는 결과적인 IF 주파수들에 영향을 미치는 주요 인자가 전파 시간 지연들임을 의미한다.

[0278] 게다가, 이러한 조정되지 않은 사례의 경우, FMCW 도플러 레이더들(120)은 고정될 공통 시간 기준을 갖지 않는다. 이는 FMCW 도플러 레이더들(120)의 클럭들/발진기들이 서로에 대해 상당한 드리프트를 가질 것임을 의미한다. 따라서, (명목 사양들은 동일하였더라도) 파형들이 다소 달랐으며, 따라서 약간의 변질이 발생했다. 발진기들이 상이한 속도들로 작동했기 때문에, IF 주파수와 "도플러" 둘 모두가 시간에 따라 변했다. 이 시뮬레이션에 대한 상대 클럭 드리프트들은 -25ppm 내지 25ppm 구간에서 랜덤화되었다(균일 분포)(xppm은 클럭이 초당 x 마이크로초씩 변경됨을 의미함). 드리프트는 20ms의 코히어런트 적분 시간 동안 일정한 것으로 가정되었다.

[0279] 이 경우의 결과는 도 14에 도시되어 있으며, 하부 부분은 위에서 설명된 조정되지 않은 사례에 대한 피해자 FMCW 도플러 레이더(120)의 레인지-속도 맵을 보여준다. 이 경우에는 약 14개의 중요한 간섭 성분이 카운트 되었으며; 레이블은 가장 높은 전력을 가진 성분을 지정한다. 명목 파형 파라미터들이 일치하더라도 간섭 응답의 상대적으로 큰 디포커싱에도 주목하며; 이는 큰 상대 클럭 드리프트로 인한 것이다.

[0280] 개별 드리프트와 연관된 FMCW 도플러 레이더들(120)을 갖는 시스템(100)의 추가적인 문제점은 이것이 전형적으로 타겟 물체들(10)의 잘못된 검출된 궤적들의 위험을 증가시킨다는 것이다. 이러한 이유는 간섭원으로 인한 검출들이 그러면 시간이 지남에 따라 정기적으로, 상세하게는 시간 오프셋들 및 전파 시간 지연들이 IF 성분들이

타깃 물체(10) 검출을 위한 관심 레인지 구간 내에 있도록 되어 있을 때 발생하기 때문이다. 검출들이 레인지가 변경되고 속도가 (약간) 변경될 것이고; 그러면 추적기는 간섭으로 인해 타깃 물체(10) 궤적들과 같은 정보를 잘못 검출할 수 있다.

[0281] 이제 동일한 시스템에 대해, 위에서 설명된 타입의 동기화 절차를 적용할 때의 결과들이 조사될 것이다.

[0282] FMCW 도플러 레이더들(120)은 이제 공통 시간 기준에 고정되었으며 FMCW 도플러 레이더들(120) 사이의 상대 클록 드리프트들은 매우 작다. 시뮬레이션의 이 일부에서 0.05 ppm의 상대 클록 드리프트들이 사용되었으며, -0.05 ppm 내지 0.05 ppm 구간에서 균일 분포를 사용하여 랜덤화되었다. 참고로, 도 20에 예시된 절차가 사용되었고, 2개의 그룹(121, 122)을 다음과 같이 자동으로 결정하였다:

[0283] 제1 그룹 = [1 13 7 10 8 15 2 17 9 6 18 5 4].

[0284] 제2 그룹 = [3 14 19 20 11 16 12].

[0285] 결과는 이러한 조정된 사례에 대한 피해자 레이더의 레인지-스윙 맵 및 레인지-속도 맵을 보여주는 도 15에 도시되어 있다.

[0286] 따라서, 공존에 대한 접근 방식이 의도한 대로 작동한다는 것을 알 수 있다. 제1 그룹(121)의 간섭원들(피해자 레이더를 포함하여 제1 단계에서 격리될 수 있는 총 13개의 FMCW 도플러 레이더(120)가 있었음)은 관심 레인지 구간 밖에 배치되었다. 게다가, 7개의 레이더의 제2 그룹(122)의 간섭원들은 0.45 PRF(이 효과를 플롯에서 더 잘 보이게 하기 위해, 위에서 언급된 0.5 PRF 값이 아님)에 대응하는 위쪽으로의 작은 캐리어 주파수 천이를 받았다. 이 캐리어 주파수 천이는 -120.9m/s 의 속도 천이를 초래한다. 클록 드리프트가 0인 경우 $v = -\lambda f_D/2$ 이다. 그렇지만, 클록 드리프트들이 정확히 0은 아니며 속도 변화가 정확하지 않을 것이지만; 본 목적들에는, 즉, 간섭을 작은 속도들로부터 충분히 멀리 이동시키는 데는, 충분히 양호할 것이다.

[0287] 피해자 레이더(120)가 경험하는 상대 IF 주파수들을 예시하는 도 17(확대됨)로부터, 도 15에 레이블링된 급격한 포인트 응답을 생성하는 것은 (예상대로) 제2 그룹(122)으로부터의 레이더 번호 3임을 알 수 있다(이는 피해자 수신기의 통과 대역 내에서 IF 주파수를 생성한다). 레이더 번호 3은 제2 그룹(122)의 멤버이다. 우연히, 제2 그룹(122)으로부터의 다른 레이더들은 대응하는 IF 주파수들이 피해자 수신기의 차단 대역에 있도록 하는 총 상대 지연을 나타내었다. 도 17에서, 도면 내의 파선들은 피해자 수신기 체인(206, 206')이 115dB의 감쇠를 갖는 주파수들을 나타낸다.

[0288] 도 15("소프트 블랭킹"이 아닌 "하드 블랭킹"을 사용함, 아래 참조)를 살펴보면, 낮은 속도들에서 약간의 잔류 간섭(리지들)이 있다. 이는 간섭하는 레이더들의 다운 스윙프들에 의해 생성되는 짧은 과도 현상(transient)으로 인한 것이다. 이러한 과도 현상은 "광대역"이며 "주요 IF 주파수"에서 멀리 떨어진 높은 스펙트럼 내용(spectral content)을 갖고 있으며 그 일부는 피해자 레이더의 수신기 통과 대역으로 누출될 것이다. 이러한 현상은, 이를 감소시키기 위한 몇 가지 수단과 함께, 아래에서 더 상세히 논의될 것이다.

[0289] 단지 검증을 위해, 레인지-스윙 맵과 레인지-속도 맵을 보여주는 도 16에서 동일한 사례가 클록 드리프트들 없이 시뮬레이션되었다. 도 16의 하부 부분에 있는 레이블은 간섭 성분이 완벽하게 동기화된 클록들에 대해 예측된 대로 정확히 -120.9m/s 의 속도로 이동되었다는 것을 보여준다.

[0290] 위에서 설명된 바와 같이, 전송되는 처프들의 의도적인 지연들을 사용하여 FMCW 도플러 레이더들(120)을 레인지 차원에서 분리시키는 것이 제안되었다. 그렇지만, 다운 처프들의 짧은 주기들은 피해자 FMCW 도플러 레이더들(120) 내의 믹서들의 출력에 짧은 과도 현상을 생성할 것이다. 이러한 과도 현상은 "광대역"이며 "주요 IF 주파수"에서 멀리 떨어진 높은 스펙트럼 내용을 갖는다. 이러한 스펙트럼 성분들은 다양한 정도들로 피해자 수신기의 통과 대역으로 누출되어 거리(레인지) 도메인에서 리지들을 따라 과도한 잡음을 생성할 것이다. 이러한 간섭 리지들은, 예를 들어, 도 15에서 낮은 속도들에서 식별될 수 있다. 이러한 리지들이 정확히 제로 속도에 위치한 경우, 일반적으로 레이더 신호 처리의 일부로서 클러터 필터가 적용되어 제로 속도를 필터링 제거하기 때문에 이는 사소한 문제였을 것이다. 그렇지만, 약간의 잔류 발진기 드리프트로 인해, 이러한 리지들은 일반적으로 타깃 물체(10) 검출에 양호한 감도가 요망되는 제로 속도 주변의 어떤 작은 속도 구간에서 "이동"할 것이다.

[0291] 이러한 간섭은 복귀 램프들(예컨대, 일반 톱니 패턴의 다운 처프들 또는 반전 톱니 패턴의 업 처프들)의 블랭킹과 테이퍼링의 조합을 사용하여 감소될 수 있어, 과도 현상을 "더 부드럽게" 만들어 과도 현상의 높은 스펙트럼 내용의 크기를 감소시킬 수 있다. 이 원리는 전송되는 신호와 믹서 신호 둘 모두에 적용될 수 있다.

그렇지만, 과도 현상의 상기 높은 스펙트럼 내용을 완화시키는 것과 관련하여, 중요한 것은 이 원리를 전송되는 신호들에 적용하는 것이다.

[0292] 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "블랭킹"이라는 용어는 주파수 패턴의 복귀 램프 동안 전송 전력을 감소시키거나 완전히 끄는 것을 의미한다. "하드 블랭킹"이란 업 처프 동안 값이 1이고 다운 처프 동안 값이 0(전송 전력이 완전히 꺼짐)인 테이퍼링 함수를 의미한다. "소프트 블랭킹"이란 하드 블랭킹을 더 매끄러운 형상을 갖도록 수정한 것을 의미한다. 소프트 블랭킹은 전송되는 대역폭이 감소되므로 일반 레이더 기능의 레인지 분해능에 영향을 미치고, 타깃 응답의 피크를 다소 감소시킬 것이며; 피크 응답의 감소는 테이퍼링 손실이라고 지칭된다. 게다가, 이는 전형적으로 전송되는 에너지를 감소시켜 SNR(Signal-to-Noise Ratio)을 더욱 감소시킨다.

[0293] 일반적으로, 위에 논의된 FMCW 스위프들은 각자의 복귀 램프 파형들을 포함할 수 있으며, 상기 복귀 램프 파형들은 이어서 하드 블랭킹되거나 평활화된다.

[0294] "하드" 블랭킹의 예와 "소프트" 블랭킹의 예를 보여주는 도 18에 하드 및 소프트 블랭킹 기능들의 예들이 도시되어 있다. 다운 처프(복귀 램프)는 $t=51.1\mu s$ 에서 시작하여 처프 반복 구간 $t=53.3\mu s$ 에서 끝난다. 한가지 관심 점은 소프트 블랭킹을 얼마나 "부드럽게(soft)" 또는 "매끄럽게(smooth)" 만들 것인가이다. 반면, 블랭킹이 부드러울수록 경험하는 간섭은 작아진다. 반면, 레인지 분해능은 감소된다. 레이더들이 TX 파형들의 디지털 합성 및 고성능의 유연한 선형 조정 가능 증폭기를 갖추고 있는 경우, 거의 임의의 테이퍼링 함수들이 설계될 수 있다. 그렇지만, 도 18에서의 설계는 설계 파라미터들 면에서 유연성만이 제한된 상대적으로 간단한 해결책을 보여준다. 해당 레이더의 TX에 대한 소프트 테이퍼링의 설계는 전기 회로의 RC 상수(RC-constant)의 값을 신중하게 선택하는 것을 포함하였다. 따라서, 완전히 대칭적인 테이퍼링 기능들은 설계될 수 없었고, 이 소프트 블랭킹은 소프트 블랭킹의 스펙트럼 특성들(대칭성 등)을 조사한 것에 기초한 절충안이었다.

[0295] 도 18에 예시된 하드 및 소프트 블랭킹 기능들을 사용하여 간단한 2-레이더 시나리오에 대해 블랭킹 없음, 하드 블랭킹 및 소프트 블랭킹의 경우들이 비교되었다. 간섭원의 시간 오프셋을 피해자 스위프 시간 오프셋을 기준으로 0으로부터 처프 반복 구간까지 단계적으로 변경하면서, 각각의 경우에 대한 최대 간섭 레벨이(이전과 같이 약 300m인 관심 있는 타깃 레인지 구간 내에서) 관찰되었다. 결과들은 다음과 같다:

[0296] 블랭킹 없음: -45.3 dB

[0297] 하드 블랭킹: -71.9 dB

[0298] 소프트 블랭킹: -77.4 dB

[0299] 하드 블랭킹은 간섭을 26.6dB만큼 감소시켰고, 소프트 블랭킹은 하드 블랭킹보다 5.5dB만큼 더 개선시켰다. 따라서, 소프트 블랭킹은 간섭을 32.1dB만큼 감소시켰다. 소프트 블랭킹을 사용하는 것으로 인해 겪게 되는 대역폭 감소는 1.71%였으며, 이는 하드 블랭킹에 비해 포인트 타깃 응답의 폭이 1.74%만큼 증가했음을 암시한다.

[0300] 본 출원의 다양한 도면들에 도시된 예들에 걸쳐, 일반적으로 하드 블랭킹이 사용되었다.

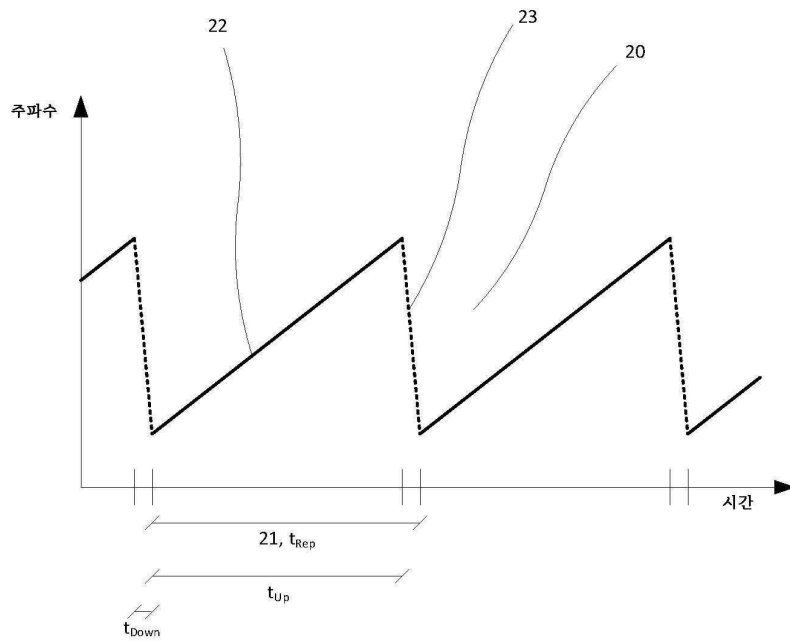
[0301] 위에서, 바람직한 실시예들이 설명되었다. 그렇지만, 통상의 기술자에게는 본 발명의 기본적인 아이디어를 벗어나지 않고 개시된 실시예들에 많은 수정들이 이루어질 수 있다는 것이 명백하다.

[0302] 예를 들어, 시스템(100)은 타깃 물체들(10)을 검출하고 추적하기 위한 많은 추가적인 부분들, 예컨대, 더 많은 레이더 장비 및 물체(10) 추적 데이터를 처리하도록, 예컨대 실시간으로 물체 추적 실현 가능성 및 3D 궤적들을 결정하도록 배열된 다양한 컴퓨터 시스템들을 포함할 수 있다.

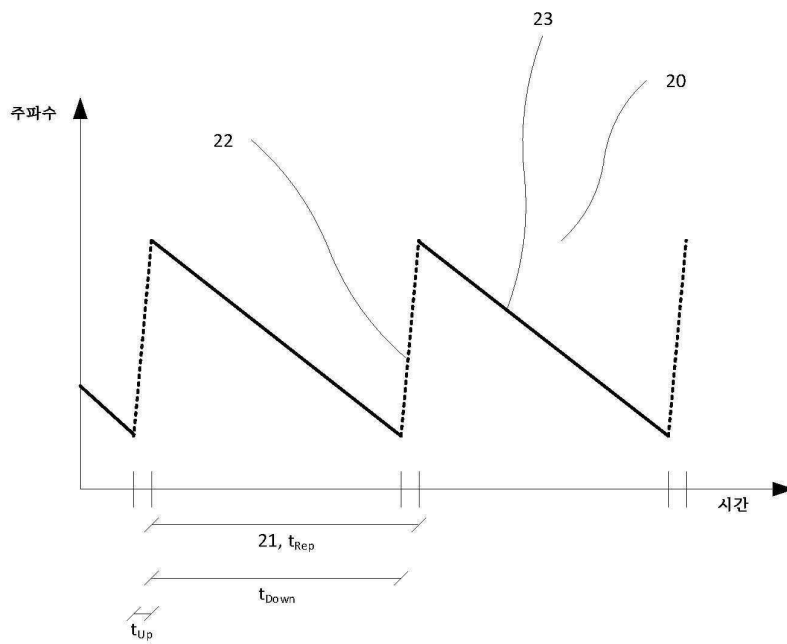
[0303] 따라서, 본 발명은 설명된 실시예들로 제한되지 않고, 첨부된 청구항들의 범위 내에서 변화될 수 있다.

도면

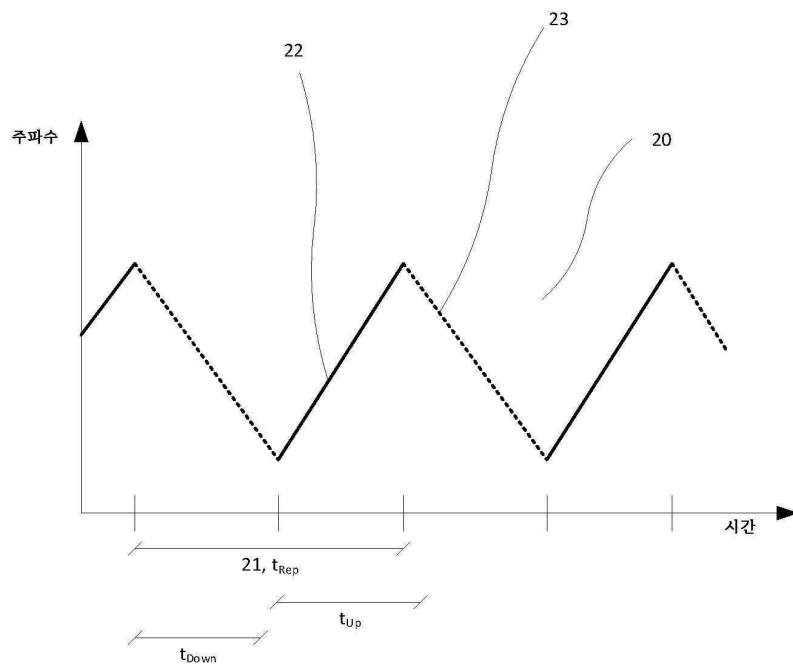
도면1a



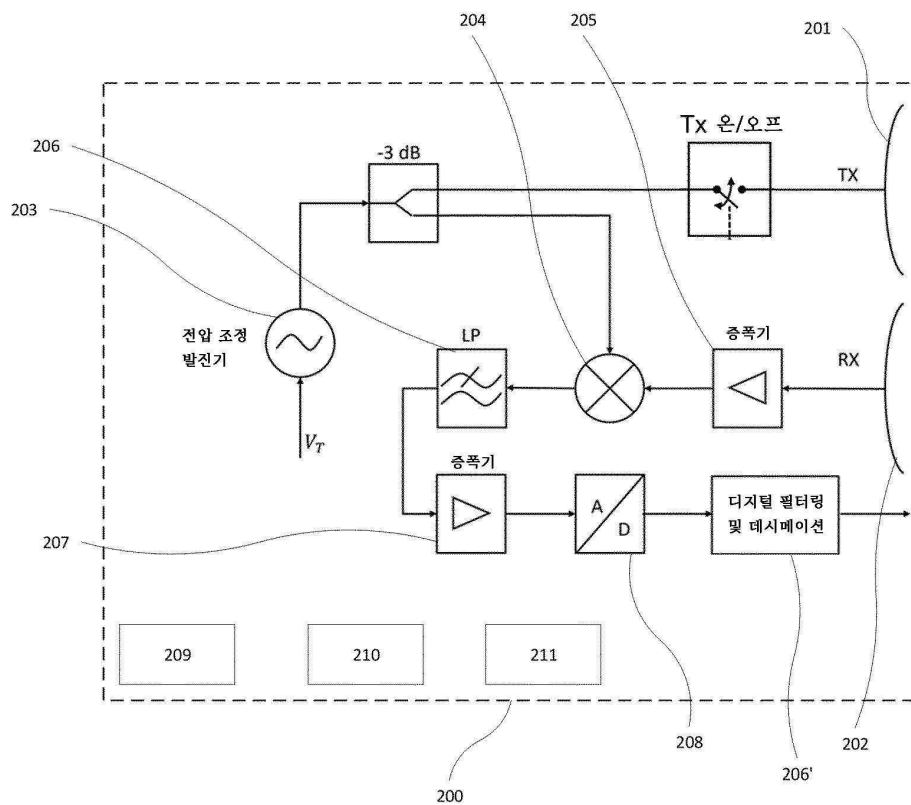
도면1b



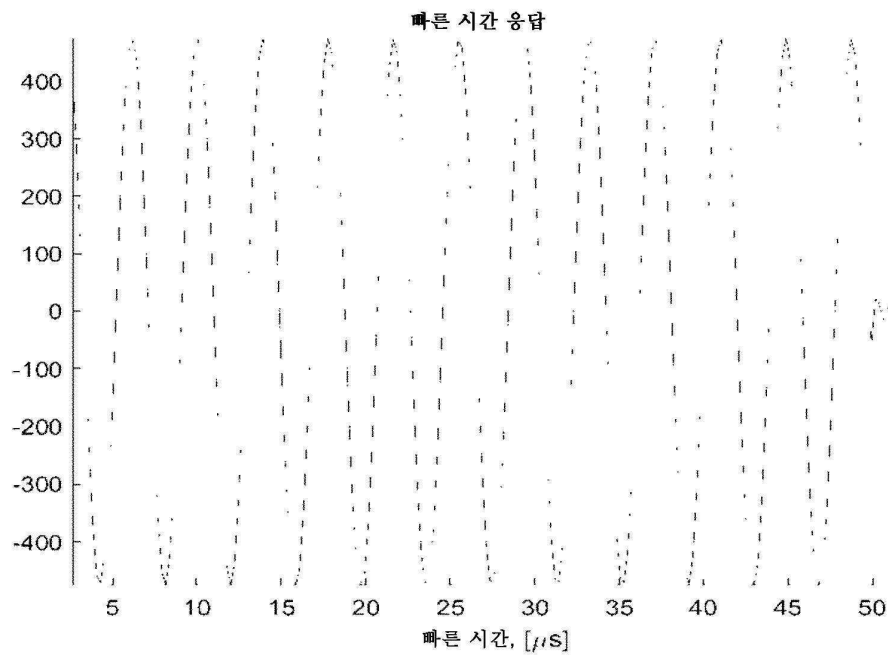
도면 1c



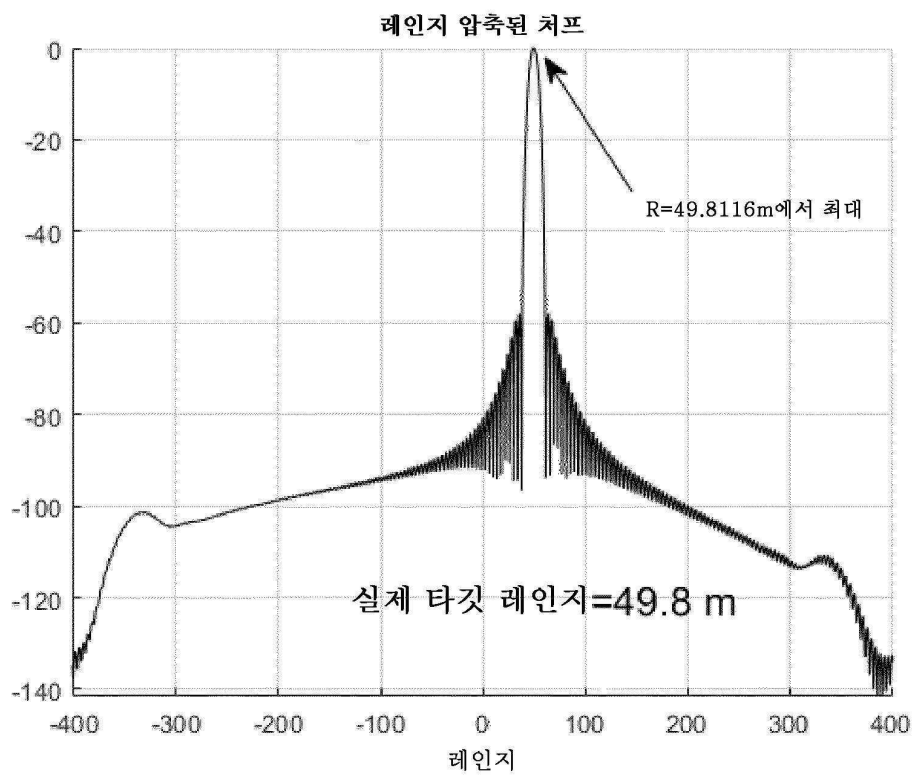
도면2



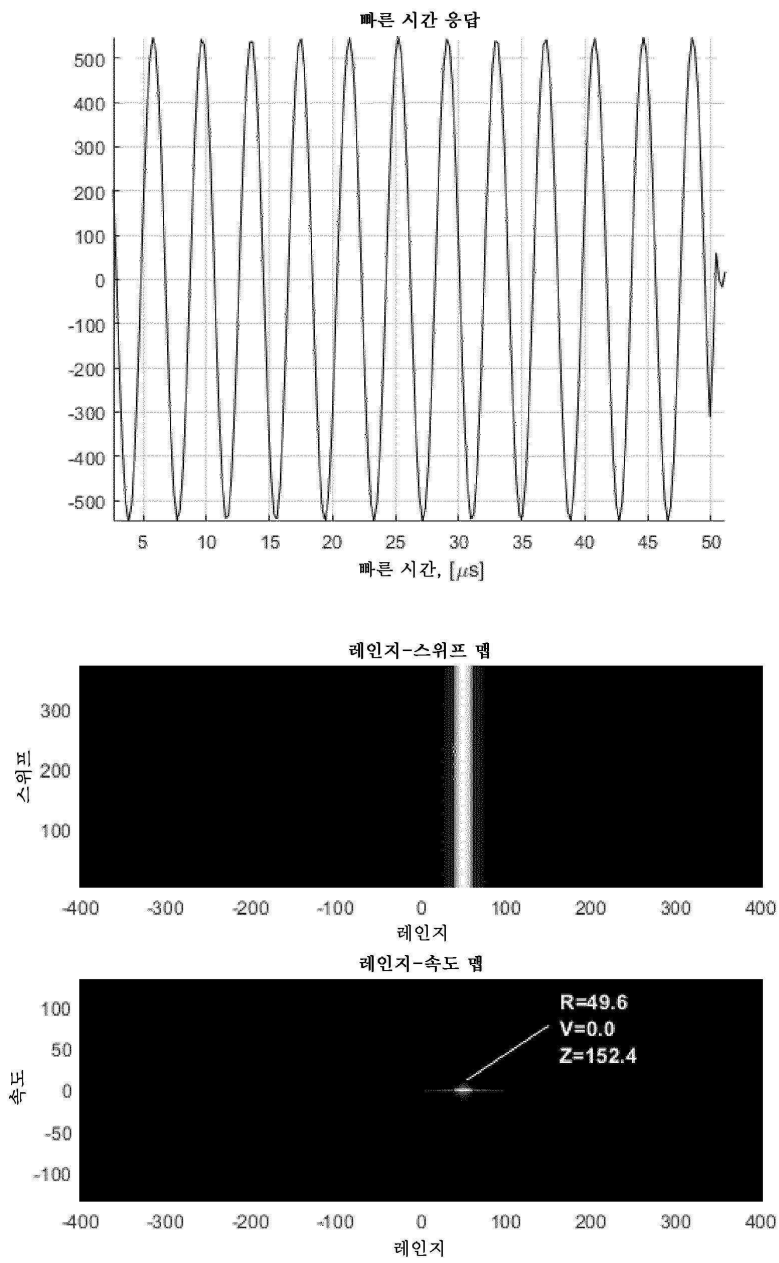
도면3



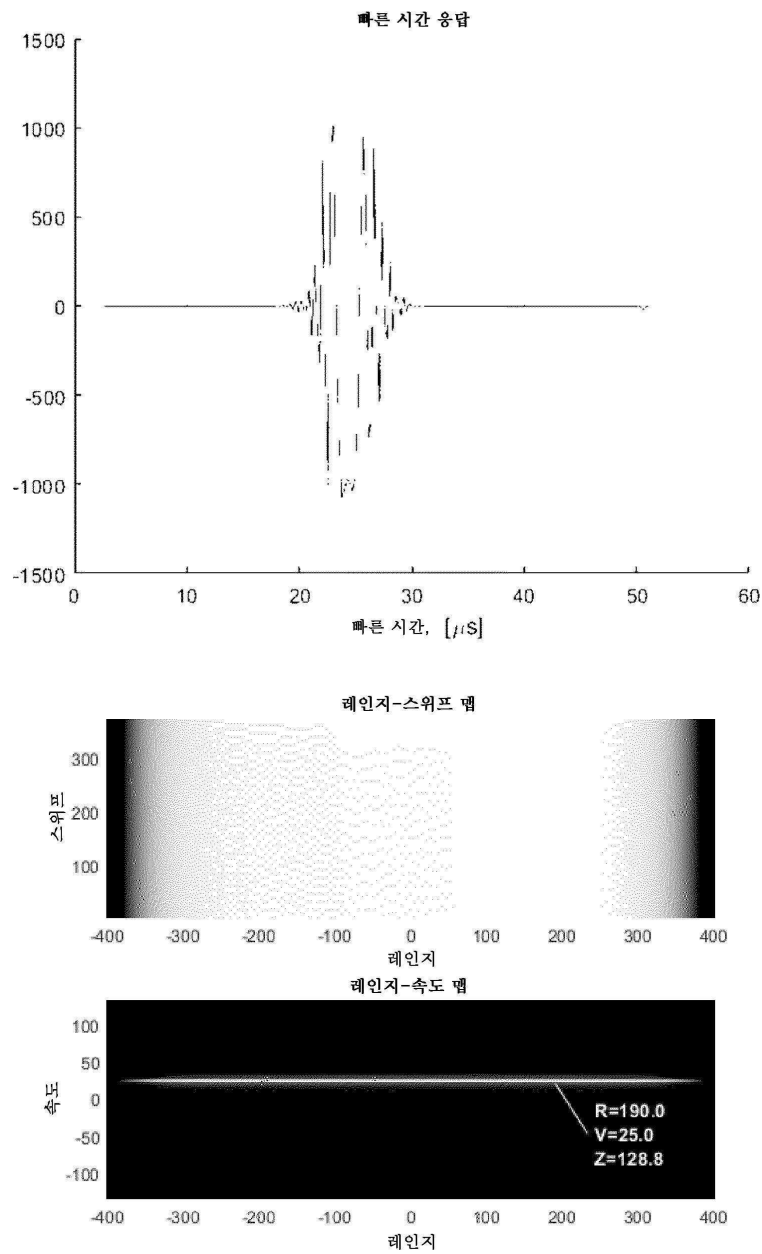
도면4



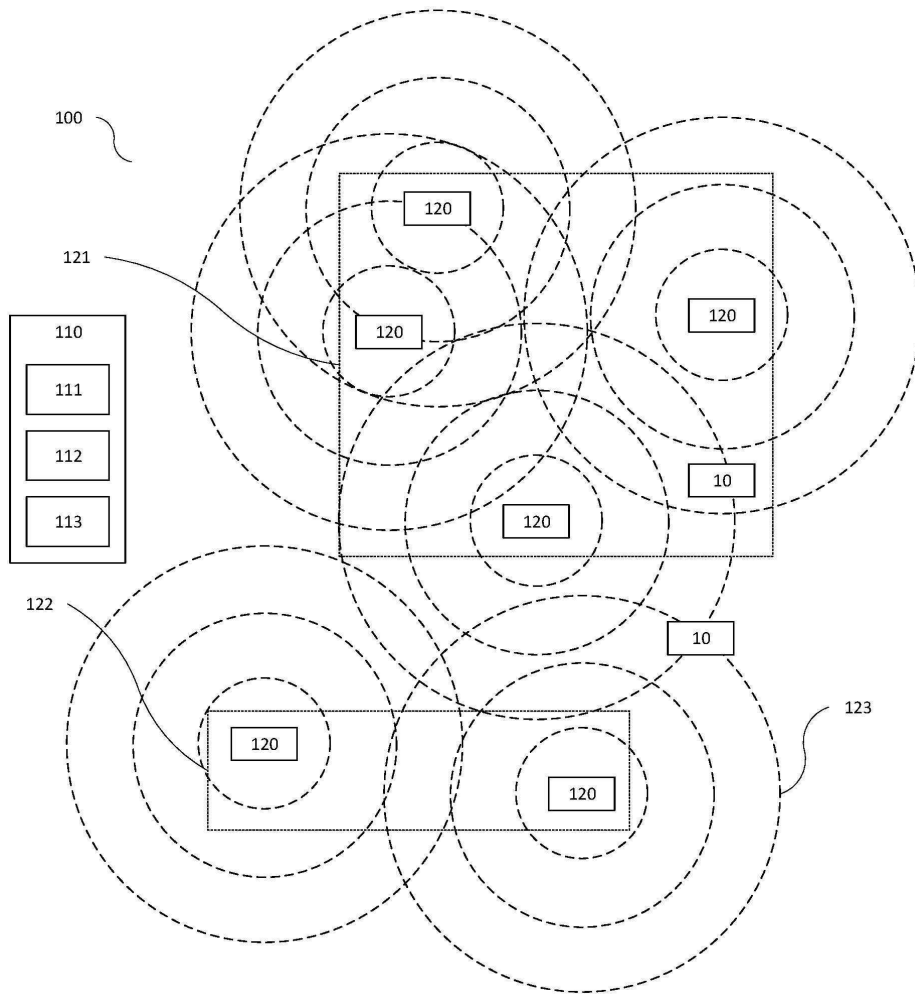
도면5



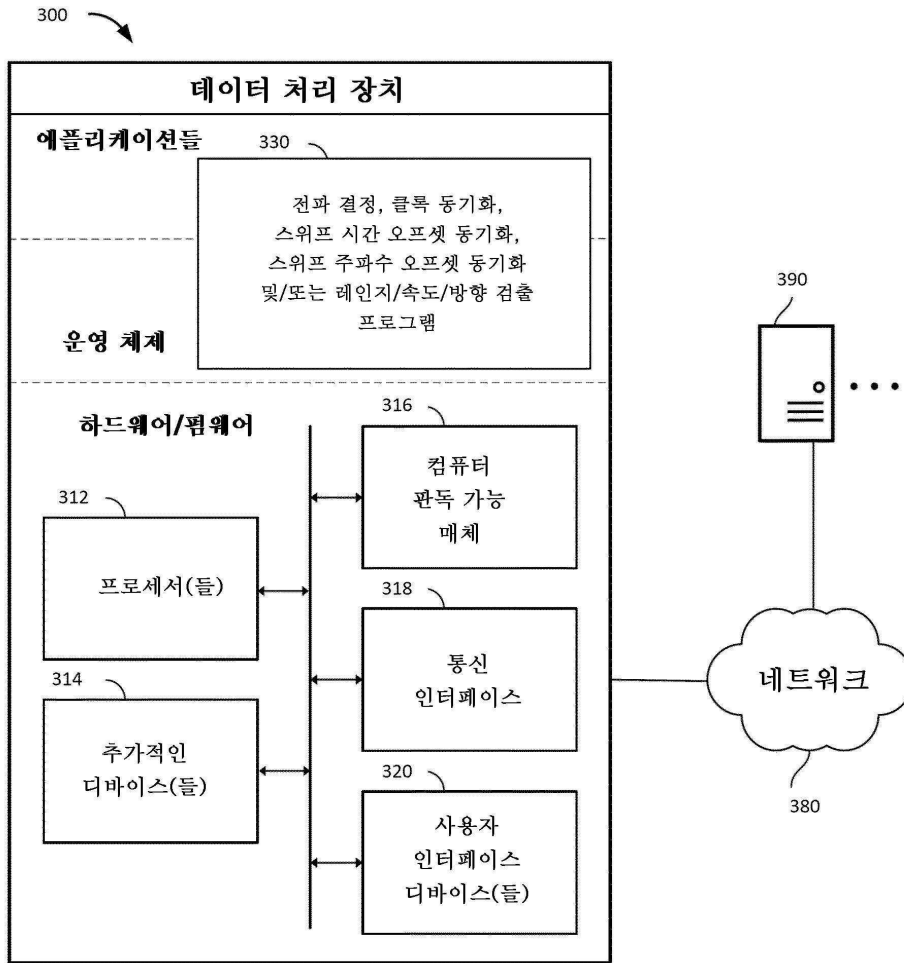
도면6



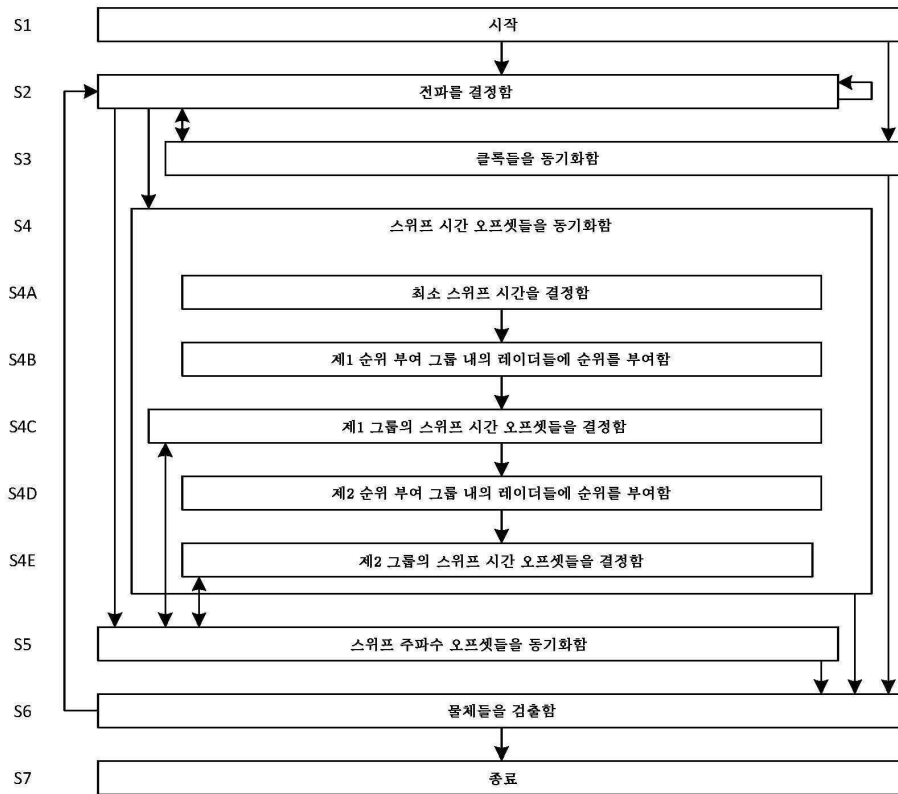
도면7



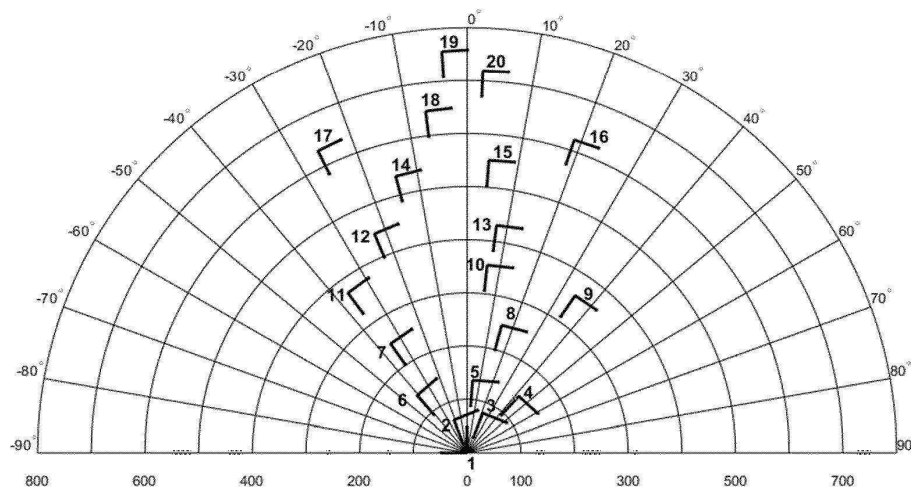
도면8



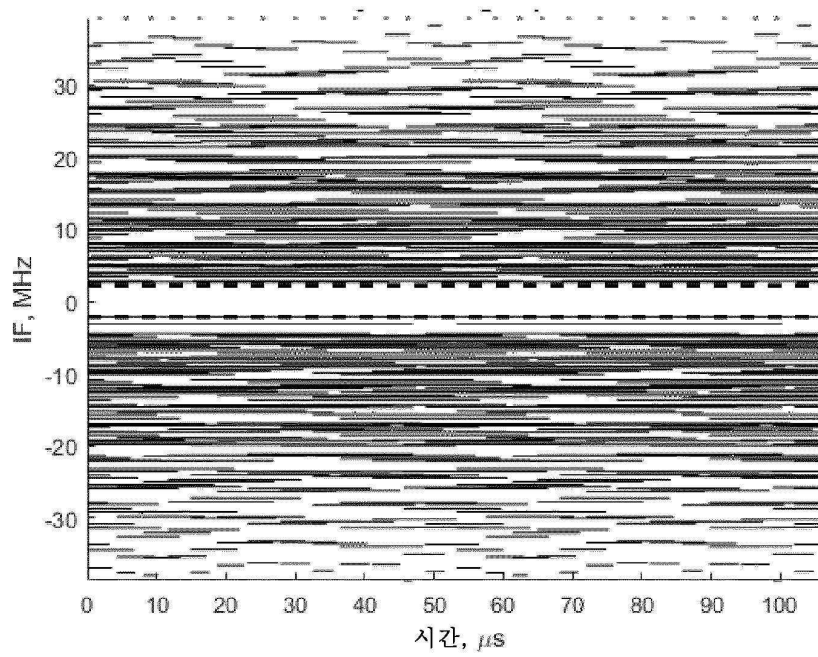
도면9



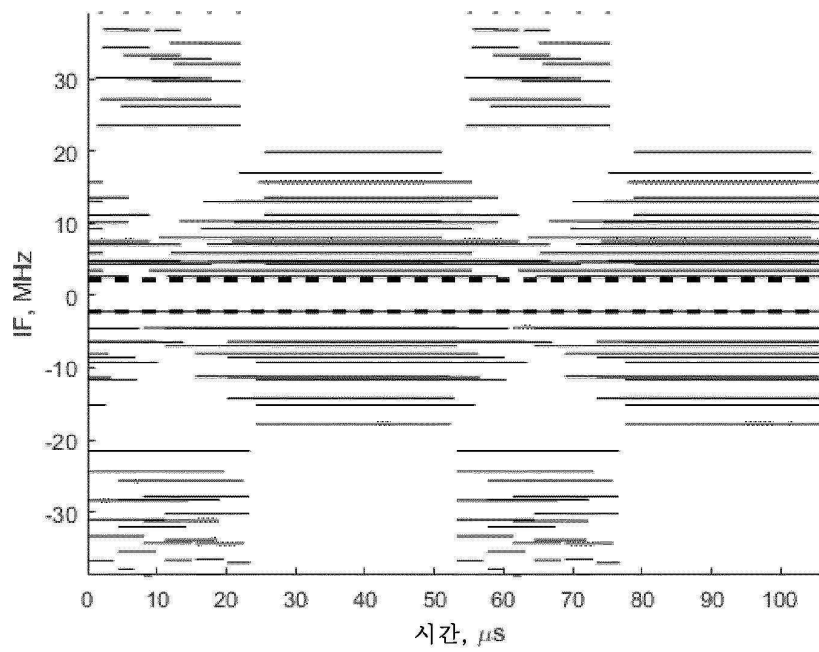
도면11



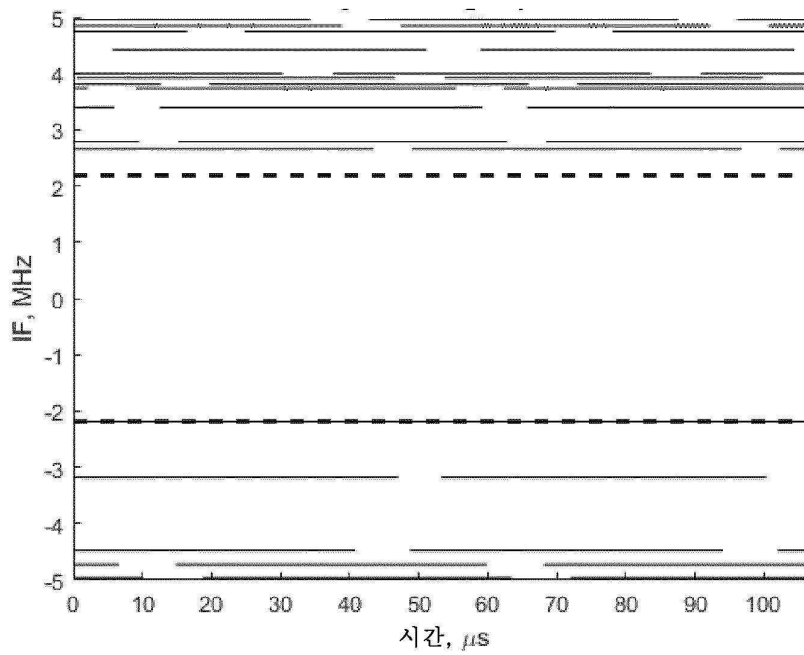
도면12a



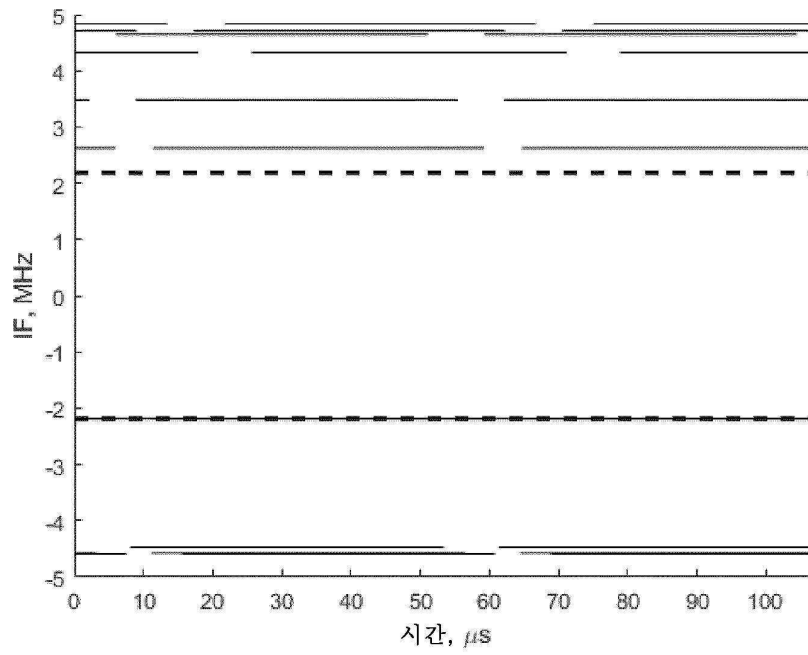
도면12b



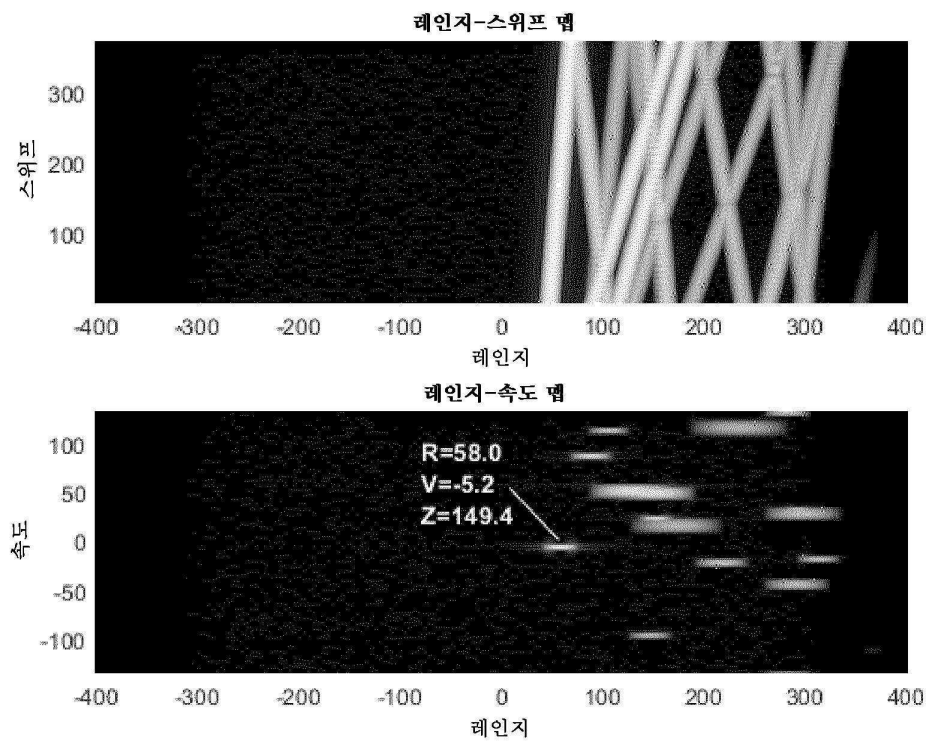
도면13a



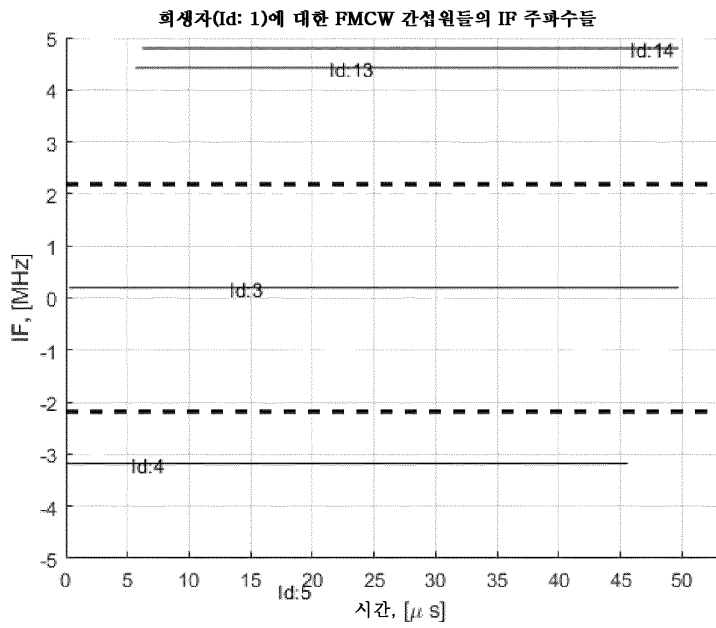
도면13b



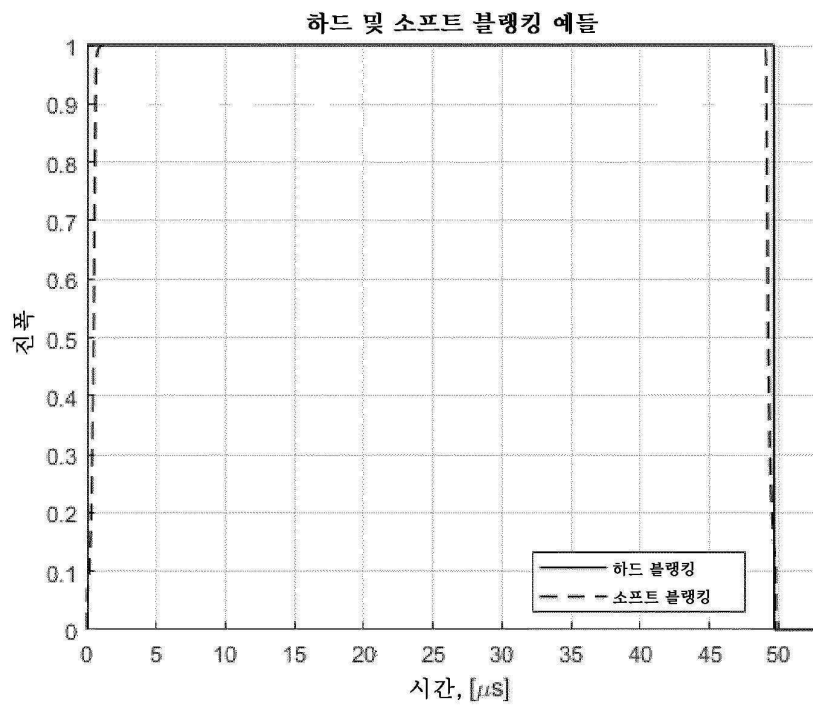
도면14



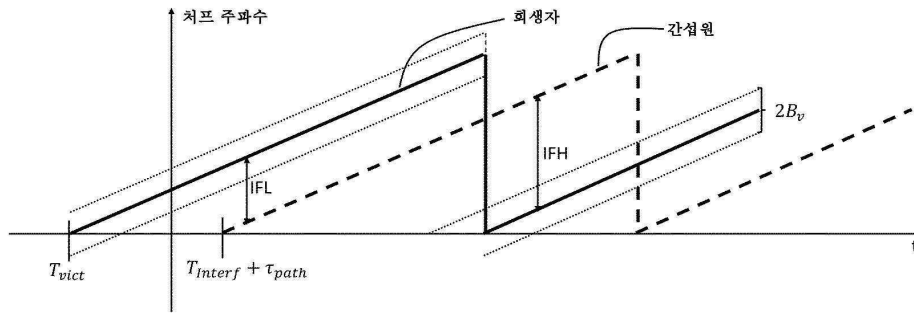
도면17



도면18



도면19



도면20

