



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0023189
(43) 공개일자 2020년03월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 13/536 (2006.01) G01S 13/58 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 13/536 (2013.01)
G01S 13/584 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0096113
(22) 출원일자 2019년08월07일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
1020180098374 2018년08월23일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한국전자통신연구원
대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동,
부경대학교)
(72) 발명자
황성현
대전광역시 유성구 어은로 57, 135동 1102호
변우진
대전광역시 유성구 용산2로 30, 101동 405호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인이상

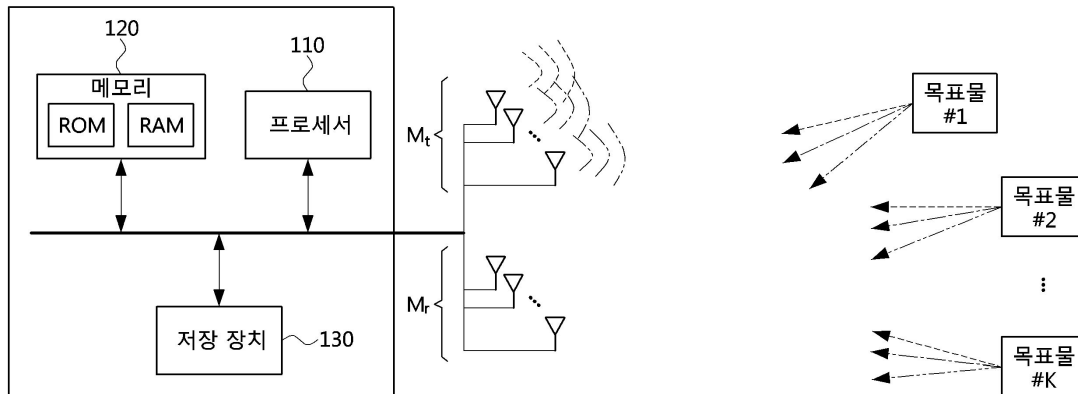
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 레이더를 사용하여 다중 목표물들을 검출하기 위한 방법 및 장치

(57) 요약

레이더를 사용하여 다중 목표물들을 검출하기 위한 방법 및 장치가 개시된다. 다중 목표물들의 검출 방법은, 상기 장치에 포함된 M_t 개의 송신 안테나들을 사용하여 제1 신호들을 전송하는 단계, 상기 다중 목표물들에 의해 반사된 제1 신호들을 상기 장치에 포함된 M_r 개의 수신 안테나들을 통해 수신하는 단계, 상기 제1 신호들과 상기 반사된 제1 신호들을 사용하여 상기 다중 목표물들 각각의 속도와 방위각을 추정하기 위한 제1 함수를 생성하는 단계를 포함한다.

대표도



(72) 발명자

유성진

대전광역시 유성구 노은로426번길 15, 604동 701호

박재현

부산광역시 남구 신천로 566, 307동 1101호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 18ZR1400

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국전자통신연구원

연구사업명 정부출연금사업(기관고유사업)

연구과제명 자율주행 자동차를 위한 주야/전천후 비디오 SAR 기술 연구

기 여 율 1/1

주관기관 한국전자통신연구원

연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

다중 목표물들을 검출하는 장치에서 수행되는 동작 방법으로서,

상기 장치에 포함된 M_t 개의 송신 안테나들을 사용하여 제1 신호들을 전송하는 단계;

상기 다중 목표물들에 의해 반사된 제1 신호들을 상기 장치에 포함된 M_r 개의 수신 안테나들을 통해 수신하는 단계;

상기 제1 신호들과 상기 반사된 제1 신호들을 사용하여 상기 다중 목표물들 각각의 속도와 방위각을 추정하기 위한 제1 함수를 생성하는 단계;

상기 제1 함수의 결과를 최대화하는 속도와 방위각을 상기 다중 목표물들 중에 상기 장치와 가장 가까운 제1 목표물의 속도와 방위각으로 추정하는 단계;

상기 제1 목표물에 의해 야기되는 간섭을 상기 제1 함수에서 제거함으로써 제2 함수를 생성하는 단계; 및

상기 제2 함수의 결과를 최대화하는 속도와 방위각을 상기 다중 목표물들 중에서 제2 목표물의 속도와 방위각으로 추정하는 단계를 포함하며,

상기 장치와 상기 제2 목표물 간의 거리는 상기 장치와 상기 제1 목표물 간의 거리 이상이고, 상기 M_t 및 상기 M_r 각각은 2 이상의 자연수인, 동작 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 M_t 개의 송신 안테나들을 통해 전송되는 상기 제1 신호들은 서로 직교하는, 동작 방법.

청구항 3

제1 함수는 2D MUSIC(multiple signal classification) 알고리즘에 기초하여 생성되는, 동작 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 제1 함수는 상기 다중 목표물들의 속도와 방위각에 의해 형성되는 제1 행렬, 상기 제1 행렬에 대한 에르미트(Hermitian) 행렬, 잡음 부공간에 의해 형성되는 제2 행렬, 및 상기 제2 행렬에 대한 에르미트 행렬로 구성되는, 동작 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 M_t 개의 송신 안테나들과 상기 M_r 개의 수신 안테나들에 의해 $M_t \times M_r$ 개의 가상 어레이 엘리먼트들이 구현되고, 상기 제1 함수는 상기 $M_t \times M_r$ 개의 가상 어레이 엘리먼트들을 통해 송수신되는 상기 제1 신호들과 상기 반사된 제1 신호들에 기초하여 생성되는, 동작 방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 제2 함수를 생성하는 단계는,

상기 제1 목표물의 속도와 방위각에 기초하여 제1 행렬을 생성하는 단계;

상기 제1 행렬을 직교한 영역에 투영함으로써 투영된 행렬을 생성하는 단계; 및

상기 투영된 행렬의 샘플 공분산 행렬에 대한 고유 값 분해(eigen-value decomposition)를 수행함으로써 상기 제2 함수를 생성하는 단계를 더 포함하는, 동작 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 동작 방법은,

상기 제1 목표물의 속도와 방위각에 기초하여 제1 행렬을 생성하는 단계;

상기 제1 행렬을 사용하여 상기 장치와 상기 제1 목표물의 거리를 지시하는 비트(beat) 주파수를 포함하는 제2 신호를 생성하는 단계; 및

상기 제2 신호에 대한 FFT(fast Fourier transform)의 결과를 상기 장치와 상기 제1 목표물의 거리로 추정하는 단계를 더 포함하는, 동작 방법.

청구항 8

다중 목표물들을 검출하는 장치로서,

프로세서(processor);

상기 프로세서의 제어에 따라 제1 신호들을 전송하는 M_t 개의 송신 안테나들;

상기 프로세서의 제어에 따라 상기 다중 목표물들에 의해 반사된 제1 신호들을 수신하는 M_r 개의 수신 안테나들; 및

상기 프로세서에 의해 실행되는 하나 이상의 명령들을 저장하는 메모리(memory)를 포함하며,

상기 하나 이상의 명령들은,

상기 제1 신호들과 상기 반사된 제1 신호들을 사용하여 상기 다중 목표물들 각각의 속도와 방위각을 추정하기 위한 제1 함수를 생성하고;

상기 제1 함수의 결과를 최대화하는 속도와 방위각을 상기 다중 목표물들 중에 상기 장치와 가장 가까운 제1 목표물의 속도와 방위각으로 추정하고;

상기 제1 목표물에 의해 야기되는 간섭을 상기 제1 함수에서 제거함으로써 제2 함수를 생성하고; 그리고

상기 제2 함수의 결과를 최대화하는 속도와 방위각을 상기 다중 목표물들 중에서 제2 목표물의 속도와 방위각으로 추정하도록 실행되며,

상기 장치와 상기 제2 목표물 간의 거리는 상기 장치와 상기 제1 목표물 간의 거리 이상이고, 상기 M_t 및 상기 M_r 각각은 2 이상의 자연수인, 장치.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 제1 함수는 상기 다중 목표물들의 속도와 방위각에 의해 형성되는 제1 행렬, 상기 제1 행렬에 대한 에르미트(Hermitian) 행렬, 잡음 부공간에 의해 형성되는 제2 행렬, 및 상기 제2 행렬에 대한 에르미트 행렬으로 구성되는, 장치.

청구항 10

청구항 8에 있어서,

상기 M_t 개의 송신 안테나들과 상기 M_r 개의 수신 안테나들에 의해 $M_t \times M_r$ 개의 가상 어레이 엘리먼트들이 구현되고,

상기 제1 함수는 상기 $M_t \times M_r$ 개의 가상 어레이 엘리먼트들을 통해 송수신되는 상기 제1 신호들과 상기 반사된 제1 신호들에 기초하여 생성되는, 장치.

청구항 11

청구항 8에 있어서,

상기 제2 함수를 생성하는 경우, 상기 하나 이상의 명령들은,

상기 제1 목표물의 속도와 방위각에 기초하여 제1 행렬을 생성하고;

상기 제1 행렬을 직교한 영역에 투영함으로써 투영된 행렬을 생성하고; 그리고

상기 투영된 행렬의 샘플 공분산 행렬에 대한 고유 값 분해(eigen-value decomposition)를 수행함으로써 상기 제2 함수를 생성하도록 더 실행되는, 장치.

청구항 12

청구항 8에 있어서,

상기 하나 이상의 명령들은,

상기 제1 목표물의 속도와 방위각에 기초하여 제1 행렬을 생성하고;

상기 제1 행렬을 사용하여 상기 장치와 상기 제1 목표물의 거리를 지시하는 비트(beat) 주파수를 포함하는 제2 신호를 생성하고; 그리고

상기 제2 신호에 대한 FFT(fast Fourier transform)의 결과를 상기 장치와 상기 제1 목표물의 거리로 추정하도록 더 실행되는, 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 다중 목표물들의 검출하기 위한 기술에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 FMCW(frequency modulated continuous wave) MIMO(multiple input multiple output) 레이더를 사용하여 다중 목표물들의 거리, 방위각, 및 속도를 추정하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 자율 주행 기능을 지원하는 차량에서 전방의 다중 목표물들을 검출하기 위해 레이더가 사용될 수 있다. 차량에 탑재된 레이더를 사용하여 다중 목표물들 각각의 거리, 방위각, 및 속도가 추정될 수 있다. 다중 목표물들을 검출하기 위해, 펄스(pulse) 레이더, 연속파(continuous wave) 레이더, FMCW(frequency modulated continuous wave) 레이더, FSK(frequency shift keying) 레이더 등이 사용될 수 있다.

[0003] 레이더를 통해 획득된 정보와 MUSIC(multiple signal classification) 알고리즘을 사용하여, 다중 목표물들의 거리, 방위각, 및 속도가 추정될 수 있다. MUSIC 알고리즘은 높은 계산 복잡도를 가지며, 잡음에 많은 영향을 받는다. 이로 인해, MUSIC 알고리즘에 의해 추정된 결과는 많은 오차를 가질 수 있다. 따라서 현재 MUSIC 알고리즘을 자율 주행 기능을 지원하는 차량에 적용하는 것은 부적절할 수 있으므로, 자율 주행 기능을 지원하는 차량에서 사용 가능한 알고리즘(예를 들어, 다중 목표물들의 검출을 위해 사용되는 알고리즘)이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은 FMCW(frequency modulated continuous wave) MIMO(multiple input multiple output) 레이더를 사용하여 다중 목표물들을 검출하는 방법 및 장치를 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0005] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 제1 실시예에 따른 다중 목표물들의 검출 방법은, 상기 장치에 포함된 M_t 개의 송신 안테나들을 사용하여 제1 신호들을 전송하는 단계, 상기 다중 목표물들에 의해 반사된 제1 신호들을 상기 장치에 포함된 M_r 개의 수신 안테나들을 통해 수신하는 단계, 상기 제1 신호들과 상기 반사된 제1 신호들을 사용하여 상기 다중 목표물들 각각의 속도와 방위각을 추정하기 위한 제1 함수를 생성하는 단계, 상기 제1 함수의 결과를 최대화하는 속도와 방위각을 상기 다중 목표물들 중에 상기 장치와 가장 가까운 제1 목표물의 속도와 방위각으로 추정하는 단계, 상기 제1 목표물에 의해 야기되는 간섭을 상기 제1 함수에서 제거함으로써 제2 함수를 생성하는 단계, 및 상기 제2 함수의 결과를 최대화하는 속도와 방위각을 상기 다중 목표물들 중에서 제2 목표물의 속도와 방위각으로 추정하는 단계를 포함하며, 상기 장치와 상기 제2 목표물 간의 거리는 상기 장치와 상기 제1 목표물 간의 거리 이상이고, 상기 M_t 및 상기 M_r 각각은 2 이상의 자연수이다.
- [0006] 여기서, 상기 M_t 개의 송신 안테나들을 통해 전송되는 상기 제1 신호들은 서로 직교할 수 있다.
- [0007] 여기서, 제1 함수는 2D MUSIC 알고리즘에 기초하여 생성될 수 있다.
- [0008] 여기서, 상기 제1 함수는 상기 다중 목표물들의 속도와 방위각에 의해 형성되는 제1 행렬, 상기 제1 행렬에 대한 에르미트 행렬, 잡음 부공간에 의해 형성되는 제2 행렬, 및 상기 제2 행렬에 대한 에르미트 행렬로 구성될 수 있다.
- [0009] 여기서, 상기 M_t 개의 송신 안테나들과 상기 M_r 개의 수신 안테나들에 의해 $M_t \times M_r$ 개의 가상 어레이 엘리먼트들이 구현될 수 있고, 상기 제1 함수는 상기 $M_t \times M_r$ 개의 가상 어레이 엘리먼트들을 통해 송수신되는 상기 제1 신호들과 상기 반사된 제1 신호들에 기초하여 생성될 수 있다.
- [0010] 여기서, 상기 제2 함수를 생성하는 단계는 상기 제1 목표물의 속도와 방위각에 기초하여 제1 행렬을 생성하는 단계, 상기 제1 행렬을 직교한 영역에 투영함으로써 투영된 행렬을 생성하는 단계, 및 상기 투영된 행렬의 샘플 공분산 행렬에 대한 고유 값 분해를 수행함으로써 상기 제2 함수를 생성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0011] 여기서, 상기 동작 방법은 상기 제1 목표물의 속도와 방위각에 기초하여 제1 행렬을 생성하는 단계, 상기 제1 행렬을 사용하여 상기 장치와 상기 제1 목표물의 거리를 지시하는 비트 주파수를 포함하는 제2 신호를 생성하는 단계, 및 상기 제2 신호에 대한 FFT의 결과를 상기 장치와 상기 제1 목표물의 거리로 추정하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0012] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 제2 실시예에 따른 검출 장치는 프로세서, 상기 프로세서의 제어에 따라 제1 신호들을 전송하는 M_t 개의 송신 안테나들, 상기 프로세서의 제어에 따라 상기 다중 목표물들에 의해 반사된 제1 신호들을 수신하는 M_r 개의 수신 안테나들, 및 상기 프로세서에 의해 실행되는 하나 이상의 명령들을 저장하는 메모리(memory)를 포함하며, 상기 하나 이상의 명령들은 상기 제1 신호들과 상기 반사된 제1 신호들을 사용하여 상기 다중 목표물들 각각의 속도와 방위각을 추정하기 위한 제1 함수를 생성하고, 상기 제1 함수의 결과를 최대화하는 속도와 방위각을 상기 다중 목표물들 중에 상기 장치와 가장 가까운 제1 목표물의 속도와 방위각으로 추정하고, 상기 제1 목표물에 의해 야기되는 간섭을 상기 제1 함수에서 제거함으로써 제2 함수를 생성하고, 그리고 상기 제2 함수의 결과를 최대화하는 속도와 방위각을 상기 다중 목표물들 중에서 제2 목표물의 속도와 방위각으로 추정하도록 실행되며, 상기 장치와 상기 제2 목표물 간의 거리는 상기 장치와 상기 제1 목표물 간의 거리 이상이고, 상기 M_t 및 상기 M_r 각각은 2 이상의 자연수이다.
- [0013] 여기서, 상기 제1 함수는 상기 다중 목표물들의 속도와 방위각에 의해 형성되는 제1 행렬, 상기 제1 행렬에 대한 에르미트 행렬, 잡음 부공간에 의해 형성되는 제2 행렬, 및 상기 제2 행렬에 대한 에르미트 행렬로 구성될 수 있다.
- [0014] 여기서, 상기 M_t 개의 송신 안테나들과 상기 M_r 개의 수신 안테나들에 의해 $M_t \times M_r$ 개의 가상 어레이 엘리먼트들이 구현될 수 있고, 상기 제1 함수는 상기 $M_t \times M_r$ 개의 가상 어레이 엘리먼트들을 통해 송수신되는 상기 제1 신호들과 상기 반사된 제1 신호들에 기초하여 생성될 수 있다.
- [0015] 여기서, 상기 제2 함수를 생성하는 경우에 상기 하나 이상의 명령들은 상기 제1 목표물의 속도와 방위각에 기초하여 제1 행렬을 생성하고, 상기 제1 행렬을 직교한 영역에 투영함으로써 투영된 행렬을 생성하고, 그리고 상기 투영된 행렬의 샘플 공분산 행렬에 대한 고유 값 분해를 수행함으로써 상기 제2 함수를 생성하도록 더 실행될

수 있다.

[0016] 여기서, 상기 하나 이상의 명령들은 상기 제1 목표물의 속도와 방위각에 기초하여 제1 행렬을 생성하고, 상기 제1 행렬을 사용하여 상기 장치와 상기 제1 목표물의 거리를 지시하는 비트 주파수를 포함하는 제2 신호를 생성하고, 그리고 상기 제2 신호에 대한 FFT의 결과를 상기 장치와 상기 제1 목표물의 거리로 추정하도록 더 실행될 수 있다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 의하면, 검출 장치는 다중 목표물들에 의해 반사된 신호에 기초하여 다중 목표물들의 파라미터들(예를 들어, 속도, 방위각, 거리)을 추정하기 위한 제1 함수를 생성할 수 있고, 제1 함수를 최대화하는 속도와 방위각을 검출 장치와 가장 가까운 제1 목표물의 속도와 방위각으로 추정할 수 있다. 검출 장치는 제1 목표물에 의해 야기되는 간섭을 제1 함수에서 제거함으로써 제2 함수를 생성할 수 있고, 제2 함수를 최대화하는 속도와 방위각을 제2 목표물의 속도와 방위각으로 추정할 수 있다. 목표물에 의해 야기되는 간섭이 순차적으로 제거됨으로써, 검출 장치는 다중 목표물들 각각의 파라미터들을 정확하게 추정할 수 있다. 또한, 다중 목표물들의 파라미터들의 검출을 위한 계산 복잡도가 감소할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 FMCW MIMO 레이더를 사용하는 검출 장치의 제1 실시예를 도시한 개념도이다.
 도 2는 검출 장치에 포함된 안테나들에 의해 형성되는 가상 안테나를 도시한 개념도이다.
 도 3은 기존 2D MUSIC 알고리즘의 수행 결과를 도시한 그래프일 수 있다.
 도 4는 직교 투영법에 기초한 간섭 제거 기법이 적용된 2D MUSIC 알고리즘의 수행 결과를 도시한 그래프일 수 있다.
 도 5는 기존 2D MUSIC 알고리즘에 의해 발생하는 오류를 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0020] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.

[0021] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.

[0022] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0023] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가진 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

- [0024] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명을 설명함에 있어 전체적인 이해를 용이하게 하기 위하여 도면상의 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 사용하고 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.
- [0025] 도 1은 FMCW(frequency modulated continuous wave) MIMO(multiple input multiple output) 레이더를 사용하는 검출 장치의 제1 실시예를 도시한 개념도이다.
- [0026] 도 1을 참조하면, 검출 장치는 차량에 탑재될 수 있고, 프로세서(110), 메모리(120), 저장 장치(130), M_t 개의 송신 안테나들, 및 M_r 개의 수신 안테나들을 포함할 수 있다. M_t 및 M_r 각각은 자연수일 수 있다. 프로세서(110)는 메모리(120) 및 저장 장치(130) 중에서 적어도 하나에 저장된 프로그램 명령(program command)을 실행할 수 있다. 프로세서(110)는 중앙 처리 장치(central processing unit, CPU), 그래픽 처리 장치(graphics processing unit, GPU), 또는 본 발명의 실시예들에 따른 방법들이 수행되는 전용의 프로세서를 의미할 수 있다. 메모리(120) 및 저장 장치(130) 각각은 휘발성 저장 매체 및 비휘발성 저장 매체 중에서 적어도 하나로 구성될 수 있다. 예를 들어, 메모리(120)는 읽기 전용 메모리(read only memory, ROM) 및 랜덤 액세스 메모리(random access memory, RAM) 중에서 적어도 하나로 구성될 수 있다.
- [0027] 검출 장치는 M_t 개의 송신 안테나들을 사용하여 신호들을 전송할 수 있고, M_t 개의 송신 안테나들에서 전송된 신호들은 K 개의 목표물들에 의해 반사될 수 있다. K 는 자연수일 수 있다. M_t 개의 송신 안테나들은 서로 직교한 파형을 가지는 신호들을 전송할 수 있다. M_t 개의 송신 안테나들로부터 전송되는 신호들의 주파수 오프셋(offset)이 조절됨으로써, 서로 직교한 파형을 가지는 신호들이 생성될 수 있다. 또는, 시분할 방식에 기초하여 직교성을 가지는 신호들이 생성될 수 있다. K 개의 목표물들에서 반사된 신호들은 M_r 개의 수신 안테나들에서 획득될 수 있다. M_r 개의 수신 안테나들에서 획득된 신호들은 분리될 수 있다.
- [0028] 서로 다른 주파수 오프셋이 M_t 개의 송신 안테나들에 적용되는 경우, M_t 개의 송신 안테나들 중에서 m_t 번째 송신 안테나에서 전송되는 신호(예를 들어, FMCW 신호)는 아래 수학적 식 1과 같이 정의될 수 있다. 즉, 검출 장치는 송신 안테나를 사용하여 $s_{m_t}(t)$ 를 전송할 수 있다.

수학적 식 1

$$s_{m_t}(t) = \exp\left\{j\left(2\pi\left(f_c + \Delta f_c(m_t - 1)\right)t + \pi kt^2\right)\right\} \text{ for } 0 \leq t \leq T_{PR}$$

[0029]

- [0030] $s_{m_t}(t)$ 는 m_t 번째 송신 안테나에서 전송되는 신호일 수 있다. f_c 는 반송파의 주파수일 수 있다. Δf_c 는 주파수 오프셋일 수 있다. T_{PR} 은 시간 영역에서 하나의 펄스의 길이일 수 있다. k 는 칩 레이트(chirp rate)일 수 있다. $s_{m_t}(t)$ 는 K 개의 목표물들에 의해 반사될 수 있고, K 개의 목표물들에 의해 반사된 신호는 M_r 개의 수신 안테나들 중에서 m_r 번째 수신 안테나에서 수신될 수 있다. m_r 번째 수신 안테나에서 수신된 신호($r_{m_r}(t)$)는 아래 수학적 식 2와 같이 정의될 수 있다. 즉, 검출 장치는 수신 안테나를 통해 $r_{m_r}(t)$ 를 수신할 수 있다.

수학적 식 2

$$r_{m_r}(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{m_t=1}^{M_t} \gamma_k s_{m_t}(t - \tau_{m_r m_t k})$$

[0031]

[0032] γ_k 는 목표물의 반사 계수, 레인지(range)로 인한 경로 손실, 안테나 이득 등을 고려하여 결정될 수 있다. 수학 식 2에서 $\tau_{m_r m_t k}$ 는 아래 수학식 3과 같이 정의될 수 있다.

수학식 3

$$\begin{aligned}\tau_{m_r m_t k} &= \frac{2}{c} \left(\frac{R_{km_t} + R_{km_r}}{2} + \frac{v_k}{2} t \right) \\ &= \frac{2}{c} \left(R_{k0} + \frac{x_{m_{t0}} + x_{m_{r0}}}{2} \sin \theta_k + \frac{v_k}{2} t \right) \\ \tau_{mk} &= \tau_{0k} + \frac{2}{c} \left(d(m-1) \sin \theta_k \right) + \frac{v_k}{c} t, \quad m=1, \dots, M_t M_r\end{aligned}$$

[0033]

[0034] R_{km_t} 는 m_t 번째 송신 안테나에서 k 번째 목표물까지의 거리일 수 있다. R_{km_r} 는 m_r 번째 수신 안테나에서 k 번째 목표물까지의 거리일 수 있다. 여기서, m_t 번째 송신 안테나와 m_r 번째 수신 안테나의 가운데에 위치한 가상 안테나에서 신호가 송수신되는 것으로 가정될 수 있다. 즉, M_t 개의 송신 안테나들과 M_r 개의 수신 안테나들이 사용됨으로써, $M_t \times M_r$ 개의 가상 어레이 엘리먼트들(virtual array elements)을 포함하는 안테나가 구현될 수 있다.

[0035]

도 2는 검출 장치에 포함된 안테나들에 의해 형성되는 가상 안테나를 도시한 개념도이다.

[0036]

도 2를 참조하면, 검출 장치는 4개의 송신 안테나들과 4개의 수신 안테나들을 포함할 수 있다. 이 경우, 16개의 가상 어레이 엘리먼트들을 포함하는 선형 어레이 안테나가 구현될 수 있다.

[0037]

수학식 3에서 v_k 는 목표물의 속도일 수 있다. 예를 들어, v_k 는 레이더(예를 들어, 안테나) 방향을 기준으로

목표물의 상대적인 속도일 수 있다. 수학식 3에서 $\frac{2}{c} \left(R_{k0} + \frac{x_{m_{t0}} + x_{m_{r0}}}{2} \sin \theta_k + \frac{v_k}{2} t \right)$ 에 의하면, 가상 어레이 엘리먼트들을 포함하는 선형 어레이 안테나에서 신호를 송수신하는 효과를 고려하여, 안테나로부터 목표물까지의 거리가 다시 표현될 수 있다. R_{k0} 는 선형 어레이 안테나에 포함된 가상 어레이 엘리먼트(예를 들어, 기

준 엘리먼트)로부터 목표물까지의 거리일 수 있다. $\frac{x_{m_{t0}} + x_{m_{r0}}}{2}$ 는 m_t 번째 송신 안테나와 m_r 번째 수신 안테나

에 의해 형성되는 가상 어레이 엘리먼트의 상대적인 위치일 수 있다. θ_k 는 목표물의 방위각일 수 있고, 선형 어레이 안테나에 포함된 가상 어레이 엘리먼트를 기준으로 결정될 수 있다. 선형 어레이 안테나에 포함된 가상 어레이 엘리먼트의 인덱스가 m 이고, 가상 어레이 엘리먼트들 간의 간격이 d 인 경우, 수학식 3에서

$$\tau_{mk} = \tau_{0k} + \frac{2}{c} \left(d(m-1) \sin \theta_k \right) + \frac{v_k}{c} t, \quad m=1, \dots, M_t M_r$$

가 정의될 수 있다.

[0038]

FMCW MIMO 레이더의 신호를 처리하기 위해, 검출 장치는 송신 안테나들로부터 전송된 신호와 수신 안테나에서 수신된 신호에 대한 디컨볼루션(deconvolution) 및 로우-패스 필터링(low-pass filtering)을 수행함으로써 아래 수학식 4에서 정의된 신호($x_{m_r m_t}(t)$)를 도출할 수 있다. 수학식 $x_{m_r m_t}(t)$ 는 비트(beat) 주파수 정보를 포함할 수 있다.

수학식 4

$$x_{m_r, m_t}(t) = LP \left\{ r_{m_r}^*(t) s_{m_t}(t) \right\} \\ \approx \sum_{k=1}^K \gamma_k \exp \left\{ j \left(2\pi f_c \tau_{mk} + 2\pi k \tau_{mk} t - \pi k \tau_{mk}^2 \right) \right\}$$

[0039]

$x_{m_r, m_t}(t)$ 는 T_s 마다 샘플링될 수 있고, 샘플링된 신호를 이산 신호로 변환함으로써 아래 수학식 5가 정의될 수 있다.

수학식 5

$$x_m[n] = x_m(nT_s) \\ \approx \sum_{k=1}^K \gamma_k \exp \left\{ j2\pi f_c \left(\tau_{0k} + \frac{2}{c} (d(m-1) \sin \theta_k) + \frac{v_k}{c} t \right) + j2\pi k \left(\tau_{0k} + \frac{2}{c} (d(m-1) \sin \theta_k) + \frac{v_k}{c} t \right) nT_s \right\}$$

[0041]

다중 목표물들을 검출하기 위해 총 S개의 펄스가 사용되는 경우, S개의 펄스에 속한 s번째 펄스의 n번째 샘플 신호는 아래 수학식 6과 같이 정의될 수 있다.

수학식 6

$$x_m[n, s] = x_m(nT_s) \Big|_{s\text{-th pulse}} \\ \approx \sum_{k=1}^K \bar{\gamma}_k \exp \left\{ j2\pi f_c \left(\frac{2}{c} (d(m-1) \sin \theta_k) + \frac{v_k}{c} (sT_{PR} + nT_s) \right) + j2\pi k \tau_{0k} nT_s \right\} \\ = \sum_{k=1}^K \bar{\gamma}_k \exp \left\{ j2\pi f_c \left(\frac{2}{c} (d(m-1) \sin \theta_k) + \frac{v_k}{c} (sT_{PR}) \right) + j2\pi \left(k \tau_{0k} + \frac{v_k}{\lambda} \right) nT_s \right\}$$

[0043]

수학식 6에서 $\bar{\gamma}_k = \gamma_k \exp \{ j2\pi f_c \tau_{0k} \}$ 가 정의될 수 있다. 가상 어레이 엘리먼트들에서 수신 신호들은 수학식 6에 기초하여 하나의 벡터 형태로 표현될 수 있다. 예를 들어, 가상 어레이 엘리먼트들에서 수신 신호들을 기초로 생성된 벡터는 아래 수학식 7과 같이 정의될 수 있다.

수학식 7

$$\mathbf{x}[n, s] = \begin{bmatrix} x_1[n, s] \\ \vdots \\ x_M[n, s] \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^K \bar{\gamma}_k \mathbf{a}(\theta_k) \exp \left\{ j2\pi \frac{v_k}{\lambda} sT_{PR} + j2\pi \left(k \tau_{0k} + \frac{v_k}{\lambda} \right) nT_s \right\}$$

[0045]

$\mathbf{a}(\theta_k)$ 는 어레이 응답 벡터(array response vector)일 수 있고,

$\mathbf{a}(\theta_k) = \left[1 \quad \cdots \quad \exp \left\{ j2\pi \frac{2d(M-1)}{\lambda} \sin \theta_k \right\} \right]^T$ 가 정의될 수 있다. $\mathbf{x}[n, s]$ 는 아래 수학식 8과 같

[0046]

이 모든 펄스에 대한 벡터 형태로 표현될 수 있다.

수학식 8

$$\bar{\mathbf{x}}[n] = \begin{bmatrix} \mathbf{x}[n,1] \\ \vdots \\ \mathbf{x}[n,S] \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^K \bar{\gamma}_k \mathbf{b}(v_k) \otimes \mathbf{a}(\theta_k) \exp \left\{ j2\pi \left(k\tau_{0k} + \frac{v_k}{\lambda} \right) nT_s \right\}$$

수학식 8에서 $\mathbf{b}(v_k)$ 는 아래 수학식 9와 같이 정의될 수 있다.

수학식 9

$$\begin{aligned} \mathbf{b}(v_k) &= \left[\exp \left\{ j2\pi \frac{T_{PR}}{\lambda} v_k \right\} \quad \cdots \quad \exp \left\{ j2\pi \frac{ST_{PR}}{\lambda} v_k \right\} \right]^T \\ &= \exp \left\{ j2\pi \frac{T_{PR}}{\lambda} v_k \right\} \left[1 \quad \cdots \quad \exp \left\{ j2\pi \frac{(S-1)T_{PR}}{\lambda} v_k \right\} \right]^T \end{aligned}$$

$\bar{\mathbf{x}}[n]$ 는 아래 수학식 10과 같이 모든 n에 대한 컬럼(column) 형태로 표현될 수 있다.

수학식 10

$$\bar{\mathbf{X}} = [\bar{\mathbf{x}}[1], \dots, \bar{\mathbf{x}}[N]]$$

■ 2D MUSIC(multiple signal classification) 알고리즘

검출 장치는 $\bar{\mathbf{X}}$ 에 기초하여 샘플 공분산 행렬을 계산할 수 있고, 샘플 공분산 행렬에 대한 고유 값 분해(eigen-value decomposition)를 수행함으로써 아래 수학식 11을 생성할 수 있다.

수학식 11

$$\bar{\mathbf{R}} = \frac{1}{N} \bar{\mathbf{X}} \bar{\mathbf{X}}^H = \begin{bmatrix} \mathbf{E}_s & \mathbf{E}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\Sigma}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \boldsymbol{\Sigma}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{E}_s & \mathbf{E}_n \end{bmatrix}^H$$

$\mathbf{E}_s$ 는 신호 부공간을 스팬(span)하는 고유 벡터를 기초로 생성된 행렬일 수 있다. $\mathbf{E}_n$ 은 잡음 부공간을 스팬하는 고유 벡터를 기초로 생성된 행렬일 수 있다. $\mathbf{f}(v_k, \theta_k) = \mathbf{b}(v_k) \otimes \mathbf{a}(\theta_k)$ 이 정의되는 경우, 신호 부공간은 잡음 부공간과 직교할 수 있다. 따라서 아래 수학식 12가 정의될 수 있다.

수학식 12

$$J(v, \theta) = \frac{1}{\mathbf{f}^H(v, \theta) \mathbf{E}_n \mathbf{E}_n^H \mathbf{f}(v, \theta)}$$

검출 장치는 2차원 격자 탐색을 수행함으로써 $J(v, \theta)$ 을 최대화하는 속도(v)와 방위각(θ)을 추정할 수 있다.

■ 직교 투영법(orthogonal projection)에 기초한 간섭 제거 기법이 적용된 2D MUSIC 알고리즘

수학식 12에서 $J(v, \theta)$ 가 최댓값을 가지는 경우, 검출 장치는 $J(v, \theta)$ 가 최댓값을 가지도록 결정된 속도(v)와 방위각(θ)을 목표물의 속도(v)와 방위각(θ)으로 추정할 수 있다. 그러나 잡음 및 $\mathbf{f}(v_k, \theta_k)$ 의 사이드-로브(side-lobe) 때문에, 검출 장치로부터 상대적으로 멀리 위치한 목표물에 의해 반사된 신호의 감쇄는 클 수 있다. 이 경우, 검출 장치로부터 상대적으로 멀리 위치한 목표물에 의해 반사된 신호의 크기는 검출 장치로부터 상대적으로 가까이 위치한 목표물에 대한 사이드-로브의 크기보다 작을 수 있다. 따라서 목표물에 대한 파라미터들(예를 들어, 거리, 방위각, 속도)을 추정하는 것은 어려울 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 검출 장치는 원시(original) 수신 신호(예를 들어, 수학식 2에 정의된 신호)에 기초하여 목표물의 파라미터들을 추정하기 위해 사용되는 함수(예를 들어, 수학식 12에 정의된 함수)를 생성할 수 있다. 검출 장치는 수학식 12에 정의된 $J(v, \theta)$ 의 최댓값을 계산할 수 있고, 최댓값을 사용하여 목표물의 파라미터들을 추정할 수 있고, 추정된 파라미터들을 사용하여 직교 투영법을 수행함으로써 원시 수신 신호 내의 간섭을 제거할 수 있다. 예를 들어, 검출 장치는 검출 장치로부터 가장 가까운 목표물에 의해 야기되는 간섭을 원시 수신 신호에서 제거함으로써 제1 수신 신호를 생성할 수 있다.

그 후에, 검출 장치는 제1 수신 신호를 기초로 $J(v, \theta)$ 의 최댓값을 계산할 수 있고, 최댓값(예를 들어, 원시 수신 신호를 기초로 계산된 최댓값보다 작은 최댓값)을 사용하여 목표물의 파라미터들을 추정할 수 있고, 추정된 파라미터들을 사용하여 직교 투영법을 수행함으로써 제1 수신 신호 내의 간섭을 제거할 수 있다. 예를 들어, 검출 장치는 검출 장치로부터 두 번째로 가까운 목표물에 의해 야기되는 간섭을 제1 수신 신호에서 제거함으로써 제2 수신 신호를 생성할 수 있다.

즉, 가장 큰 $J(v, \theta)$ 를 발생시키는 신호를 반사한 목표물에 대한 파라미터들(예를 들어, 속도 및 방위각)이 추정된 경우, 검출 장치는 추정된 파라미터들을 사용하여 $\mathbf{f}(\hat{v}_1, \hat{\theta}_1)$ 를 계산할 수 있고, $\mathbf{f}(\hat{v}_1, \hat{\theta}_1)$ 와 직교한 영역에 투영된 행렬을 계산할 수 있다. $\mathbf{f}(\hat{v}_1, \hat{\theta}_1)$ 와 직교한 영역에 투영된 행렬은 아래 수학식 13과 같이 정의될 수 있다.

수학식 13

$$\mathbf{P}_1^\perp = \mathbf{I}_{MN} - \mathbf{f}(\hat{v}_1, \hat{\theta}_1) \left(\mathbf{f}^H(\hat{v}_1, \hat{\theta}_1) \mathbf{f}(\hat{v}_1, \hat{\theta}_1) \right)^{-1} \mathbf{f}^H(\hat{v}_1, \hat{\theta}_1)$$

또한, 검출 장치는 샘플 공분산 행렬(예를 들어, $\bar{\mathbf{R}}_1 = \frac{1}{N} \mathbf{P}_1^\perp \bar{\mathbf{X}} \bar{\mathbf{X}}^H \mathbf{P}_1^{\perp H}$)에 기초하여 고유 값 분해를 수행함으로써 수학식 12를 계산할 수 있다. 이 경우, 검출 장치는 가장 큰 세기를 가지는 신호를 반사시키는 목표물의 파라미터들로 인한 간섭 효과를 제거할 수 있고, 간섭 효과가 제거된 상태에서 다음 목표물의 파라미터들을 정확하게 추정할 수 있다. 검출 장치는 앞서 설명된 동작을 K번 반복 수행함으로써 K개 목표물들(예를 들어, 도 1

에 도시된 K개 목표물들)의 파라미터들을 추정할 수 있다. 가장 작은 수신 세기를 가지는 목표물(예를 들어, 검출 장치로부터 가장 멀리 떨어진 목표물)의 파라미터들도 정확하게 추정될 수 있다.

■ 2D 루트(root) MUSIC 알고리즘

2차원 격자 탐색의 계산량은 매우 많기 때문에, 검출 장치는 2차원 루트 MUSIC 알고리즘을 사용하여 목표물의 파라미터들을 추정할 수 있다. 검출 장치는 아래 수학식 14에 정의된 2개의 벡터들을 정의할 수 있다.

수학식 14

$$\mathbf{b}(z_v) \triangleq \begin{bmatrix} 1 \\ z_v \\ \vdots \\ z_v^{S-1} \end{bmatrix}, \mathbf{a}(z_\theta) \triangleq \begin{bmatrix} 1 \\ z_\theta \\ \vdots \\ z_\theta^{M-1} \end{bmatrix} \text{ with } z_v = e^{j\frac{2\pi}{\lambda}vT_{PR}}, z_\theta = e^{j\frac{4\pi}{\lambda}d\sin\theta_k}$$

수학식 14에 정의된 2개의 벡터들을 사용하면, 수학식 12의 분모는 아래 수학식 15와 같이 정의될 수 있다.

수학식 15

$$\mathbf{f}^H(v, \theta) \mathbf{E}_n \mathbf{E}_n^H \mathbf{f}(v, \theta) = 0 \Leftrightarrow \mathbf{f}(z_v^{-1}, z_\theta^{-1}) \mathbf{\Pi} \mathbf{f}(z_v, z_\theta) = 0 \text{ with } \mathbf{\Pi} = \mathbf{E}_n \mathbf{E}_n^H$$

$\mathbf{f}(z_v, z_\theta)$ 는 아래 수학식 16과 같이 정의될 수 있다.

수학식 16

$$\mathbf{f}(z_v, z_\theta) \triangleq \mathbf{b}(z_v) \otimes \mathbf{a}(z_\theta) = \begin{bmatrix} \mathbf{a}^T(z_\theta) & z_v \mathbf{a}^T(z_\theta) & \cdots & z_v^{S-1} \mathbf{a}^T(z_\theta) \end{bmatrix}^T$$

수학식 12의 $J(v, \theta)$ 를 최대화하는 파라미터들을 구하는 것은 수학식 15에서 (z_v, z_θ) 에 대한 방정식의 근을 구하는 것과 동일할 수 있다. 수학식 15는 아래 수학식 17로 변환될 수 있다.

수학식 17

$$\mathbf{a}^H(z_\theta^{-1}) \left[\sum_{i,j=1}^S z_v^{j-i} \mathbf{\Pi}_{ij} \right] \mathbf{a}(z_\theta^{-1}) = 0$$

검출 장치는 아래 수학식 18을 만족하는 z_v 를 계산할 수 있다.

수학식 18

$$D(z_v) = \det \left[\sum_{i,j=1}^S z_v^{j-i} \mathbf{\Pi}_{ij} \right] = 0$$

[0076] $z_v = e^{j\frac{2\pi}{\lambda}vT_{PR}}$ 가 정의되는 경우, 수학식 18의 근들 중에서 속도에 관련된 근은 크기가 1인 단위 원(unit circle)상에 위치할 수 있다. 따라서 K개 목표물들의 속도를 추정하기 위해, 검출 장치는 단위 원에 가장 가까운 K개의 근들(예를 들어, $\hat{z}_v^{(k)}$, $k=1,...,K$)을 선택할 수 있고, 아래 수학식 19에 기초하여 K개의 목표물들의 속도를 추정할 수 있다.

수학식 19

[0077]
$$\hat{v}_k = \text{asin}\left(\frac{\lambda}{2\pi T_{PR}} \arg\left(\hat{z}_v^{(k)}\right)\right) \quad k=1,...,K$$

[0078] 검출 장치는 $\hat{z}_v^{(k)}$, $k=1,...,K$ 에 기초하여 $\hat{\mathbf{\Pi}}_k = \left[\sum_{i,j=1}^S \left(\hat{z}_v^{(k)}\right)^{j-i} \mathbf{\Pi}_{ij} \right]$, $k=1,...,K$ 를 계산할 수 있다.

검출 장치는 $\hat{\mathbf{\Pi}}_k = \left[\sum_{i,j=1}^S \left(\hat{z}_v^{(k)}\right)^{j-i} \mathbf{\Pi}_{ij} \right]$, $k=1,...,K$ 를 수학식 17에 대입함으로써 아래 수학식 20을 획득할 수 있다.

수학식 20

[0079]
$$\mathbf{f}_k(z_\theta) = \mathbf{a}_t^T(z_\theta^{-1}) \hat{\mathbf{\Pi}}_k \mathbf{a}_t(z_\theta^{-1}) = 0 \quad k=1,...,K$$

[0080] $z_\theta = e^{j\frac{4\pi}{\lambda}d \sin \theta_k}$ 가 정의되는 경우, 수학식 20의 근들 중에서 방위각에 관련된 근은 크기가 1인 단위 원상에 위치할 수 있다. 따라서 K개 목표물들의 방위각을 추정하기 위해, 검출 장치는 수학식 20의 근들 중에서 단위 원에 가장 가까운 K개의 근들을 선택할 수 있고, 아래 수학식 21에 기초하여 K개 목표물들의 방위각을 추정할 수 있다.

수학식 21

[0081]
$$\hat{\theta}_k = \text{asin}\left(\frac{\lambda}{4\pi d} \arg\left(z_\theta^{(k)}\right)\right) \quad k=1,...,K$$

■ 저복잡도 근사화에 기초한 2D 루트 MUSIC 알고리즘

[0082] 수학식 14는 $z_v = e^{j\frac{2\pi}{\lambda}vT_{PR}}$ 에 대한 함수이고, $z_v = e^{j\phi}$ 가 정의되는 경우, $D(z_v)$ 는 $D(\phi)$ 로 표현될 수 있다. 즉, $D(\phi)$ 는 2π 주기를 가지는 주기 함수일 수 있다. 검출 장치는 아래 수학식 22와 같이 $D(\phi)$ 를 푸리에 급수(Fourier series)로 표현할 수 있다.

수학식 22

$$D(\phi) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{jn\phi}$$

[0084]

F_n 는 아래 수학식 23과 같이 정의될 수 있다.

수학식 23

$$F_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} D(\phi) e^{-jn\phi} d\phi \approx \frac{1}{2\pi} \sum_{l=-N}^N D(l\Delta\phi) e^{-jnl\Delta\phi} \Delta\phi \triangleq \hat{F}_n, \Delta\phi = 2\pi/(2N+1)$$

[0086]

검출 장치는 수학식 18의 디터미넌트(determinant)를 푸리에 급수를 통해 근사화함으로써 아래 수학식 24를 도출할 수 있다.

수학식 24

$$D(e^{j\phi_v}) = \det \left[\sum_{i,j=1}^S (e^{j\phi_v})^{j-i} \mathbf{\Pi}_{ij} \right] \approx \sum_{n=-N}^N \hat{F}_n e^{jn\phi_v} = 0$$

[0088]

수학식 24에서 z 에 대한 다항식 차수는 " $(S-1) \times M$ "일 수 있다. 이 경우, S 또는 M 이 커짐에 따라 다항식 차수가 증가할 수 있다. 수학식 24에서 z 에 대한 다항식 차수가 " $N < (S-1) \times M$ "을 만족하도록 설정되는 경우, 검출 장치는 낮은 다항식 차수를 가지는 수학식 24의 근들을 효율적으로 찾을 수 있다. 검출 장치는 수학식 24의 근들과 수학식 19를 사용하여 K 개의 목표물들의 속도를 추정할 수 있고, 수학식 24의 근들과 수학식 20 및 21을 사용하여 K 개의 목표물들의 방위각을 추정할 수 있다. 방위각 추정을 위해 사용되는 방정식의 차수는 높지 않기 때문에, 검출 장치는 근사화 동작 없이 방위각을 정확하게 추정할 수 있다. 필요한 경우, 검출 장치는 근사화 동작을 수행함으로써 방위각을 추정할 수 있다.

[0089]

■ 가중치를 고려한 저복잡도 근사화에 기초한 2D 루트 MUSIC 알고리즘

[0090]

검출 장치는 수학식 24에 정의된 $D(e^{j\phi_v})$ 를 가중치($w(\phi_l)$)와 함께 근사화할 수 있다. 예를 들어, 검출 장치는 아래 수학식 25에 기초하여 $D(e^{j\phi_v})$ 를 근사화할 수 있다.

는 아래 수학식 25에 기초하여 $D(e^{j\phi_v})$ 를 근사화할 수 있다.

수학식 25

$$\min_{\{G_m\}} \sum_{l=1}^L w(\phi_l) \left| D(e^{j\phi_l}) - \sum_{m=-M}^M G_m e^{jm\phi_l} \right|^2 \quad \text{s.t.} \quad G_m^* = G_{-m}$$

[0092]

$D(e^{j\phi}) = 0$ 가 만족되는 경우, 검출 장치는 정확한 근사화를 위해 $w(\phi_l)$ 를 아래 수학식 26과 같이 정의할 수 있다.

[0093]

수학식 26

$$w(\phi_l) = \frac{1}{(D(e^{j\phi_l}) + \varepsilon)}$$

[0094]

$D(e^{j\phi_v})$ 는 에르미트 대칭 행렬(Hermitian symmetric matrix)의 디터미넌트일 수 있다. 따라서 $D(e^{j\phi_v})$ 는 항상 실수 값을 가질 수 있으며, 수학식 25는 아래 수학식 27과 같이 재정의될 수 있다.

[0095]

수학식 27

$$\min_{\mathbf{u}} \sum_{l=1}^L \|\mathbf{W}^{1/2} (\mathbf{d} - \mathbf{B}\mathbf{u})\|^2, \quad \mathbf{W} = \text{diag}(w(\phi_1), \dots, w(\phi_L))$$

[0096]

수학식 27의 파라미터들은 아래 수학식 28과 같이 정의될 수 있다.

[0097]

수학식 28

$$\begin{aligned} \mathbf{u} &= [G_0, \text{Re}(G_1), \dots, \text{Re}(G_M), \text{Im}(G_1), \dots, \text{Im}(G_M)]^T \\ \mathbf{d} &= [D(e^{j\phi_1}), \dots, D(e^{j\phi_L})]^T \\ \mathbf{B} &= [\mathbf{1}_L, 2\text{Re}(\tilde{\mathbf{B}}), 2\text{Im}(\tilde{\mathbf{B}})], \quad [\tilde{\mathbf{B}}]_{l,m} = e^{jm\phi_l} \end{aligned}$$

[0098]

검출 장치는 아래 수학식 29에 기초하여 수학식 27의 근들을 계산할 수 있다.

[0099]

수학식 29

$$\mathbf{u} = (\mathbf{B}^T \mathbf{W} \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{W} \mathbf{d}$$

[0100]

$$\sum_{m=-M}^M G_m e^{jm\phi_l} = 0$$

[0101]

따라서 검출 장치는 " $m=-M$ "을 만족하는 근들을 효율적으로 계산할 수 있다. 검출 장치는 수학식 27의 근들과 수학식 19를 사용하여 K개의 목표물들의 속도를 추정할 수 있고, 수학식 27의 근들과 수학식 20 및 21을 사용하여 K개의 목표물들의 방위각을 추정할 수 있다. 방위각 추정을 위해 사용되는 방정식의 차수는 높지 않기 때문에, 검출 장치는 근사화 동작 없이 방위각을 정확하게 추정할 수 있다. 필요한 경우, 검출 장치는 근사화 동작을 수행함으로써 방위각을 추정할 수 있다.

[0102]

검출 장치는 추정된 속도와 방위각을 사용하여 검출 장치(예를 들어, 안테나)와 목표물 간의 거리를 추정할 수 있다. 검출 장치는 추정된 속도와 방위각을 사용하여 $\mathbf{f}(\hat{v}_k, \hat{\theta}_k)$ 를 계산할 수 있다. $\mathbf{f}(\hat{v}_k, \hat{\theta}_k)$ 는 아래 수학식 30과 같이 정의될 수 있다.

수학식 30

$$\mathbf{f}(\hat{v}_k, \hat{\theta}_k) = \mathbf{b}(\hat{v}_k) \otimes \mathbf{a}(\hat{\theta}_k)$$

검출 장치는 $\mathbf{f}^H(\hat{v}_k, \hat{\theta}_k)$ 와 수학식 10에서 정의된 $\bar{\mathbf{X}}$ 를 곱함으로써 아래 수학식 31에서 정의된 $\mathbf{y}_k$ 를 계산할 수 있다.

수학식 31

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_k &= \mathbf{f}^H(\hat{v}_k, \hat{\theta}_k) \bar{\mathbf{X}} = \mathbf{f}^H(\hat{v}_k, \hat{\theta}_k) [\bar{\mathbf{x}}[1], \dots, \bar{\mathbf{x}}[N]] \\ &= \sum_{i=1}^K \bar{\gamma}_i \mathbf{f}^H(\hat{v}_k, \hat{\theta}_k) \mathbf{f}(v_i, \theta_i) \left[\exp \left\{ j2\pi \left(k\tau_{0i} + \frac{v_i}{\lambda} \right) nT_s \right\}, n=1, \dots, N \right] \\ &= \bar{\gamma}_k \mathbf{f}^H(\hat{v}_k, \hat{\theta}_k) \mathbf{f}(v_k, \theta_k) \left[\exp \left\{ j2\pi \left(k\tau_{0k} + \frac{v_k}{\lambda} \right) nT_s \right\}, n=1, \dots, N \right] + IN \end{aligned}$$

목표물의 속도와 방위각에 의해 형성된 벡터($\mathbf{f}^H(\hat{v}_k, \hat{\theta}_k)$)를 정합 필터(matched filter)에 통과시키는 효과가 발생하므로, 목표물 방향으로의 SNR(signal to noise ratio)이 최대가 되도록 수신 벡터가 결합될 수 있다. 따라서 다른 목표물로부터 반사되는 신호는 널링(nulling)될 수 있다. $\mathbf{y}_k$ 는 k번째 목표물과 검출 장치(예를 들어, 안테나) 간의 거리에 해당하는 단일 비트 주파수($k\tau_{0k}$)로 인하여 발생하는 단일 톤(tone) 신호를 T_s 마다 샘플링한 신호에 잡음이 더해진 신호일 수 있다. $\mathbf{y}_k$ 에 대한 FFT(fast Fourier transform)의 결과인 피크 주파수는 비트 주파수일 수 있고, 검출 장치는 아래 수학식 32를 사용하여 k번째 목표물과 검출 장치(예를 들어, 안테나) 간의 거리를 추정할 수 있다.

수학식 32

$$\begin{aligned} \hat{f}_{beat} &= peak(FFT(\mathbf{y}_k)) \\ \hat{f}_{beat} &= \left(k \frac{2R_k}{c} + \frac{v_k}{\lambda} \right) \Rightarrow \hat{R}_k = \frac{c}{2k} \left(\hat{f}_{beat} - \frac{v_k}{\lambda} \right) \end{aligned}$$

한편, 앞서 설명된 실시예들에 따른 성능은 다음과 같을 수 있다. 검출 장치의 동작 주파수(f_c), 송신 안테나, 및 수신 안테나는 아래 표 1과 같이 정의될 수 있다.

표 1

파라미터	값
동작 주파수	77GHz
송신 안테나들의 개수(M_t)	2
수신 안테나들의 개수(M_r)	8

[0109]

[0110]

검출 장치의 전방에 3개의 목표물들이 존재하는 것으로 가정될 수 있다. 3개의 목표물들의 파라미터들(예를 들어, 거리, 방위각, 속도)은 아래 표 2와 같이 정의될 수 있다.

표 2

	목표물 #1	목표물 #2	목표물 #3
거리	70m	80m	90m
방위각(θ_k)	-10도	0도	-13도
속도(v_k)	50m/s	80m/s	70m/s

[0111]

[0112]

거리는 검출 장치(예를 들어, 안테나)와 목표물 간의 거리일 수 있다. 목표물의 방위각(θ_k)은 검출 장치를 기준으로 결정될 수 있다. 목표물의 속도(v_k)는 검출 장치에 대한 상대 속도일 수 있다. k 는 목표물의 인덱스일 수 있다.

[0113]

송신 안테나들로부터 전송된 신호들은 목표물들에 의해 반사될 수 있고, 수신 안테나들은 목표물들로부터 반사된 신호들을 수신할 수 있다. 수신 안테나들에서 수신된 신호들의 강도는 표 2에 정의된 거리의 네 제곱에 반비례하는 것으로 가정될 수 있다. 여기서, AWGN(additive white Gaussian noise)이 존재할 수 있으며, 분산값은 8.57×10^{-4} 로 설정될 수 있다.

[0114]

표 1 및 표 2에 정의된 파라미터들에 기초한 기존 2D MUSIC 알고리즘의 수행 결과는 아래 도 3과 같을 수 있다. 2D MUSIC 알고리즘을 위한 탐색 간격은 "속도 그리드(speed grid)=40:0.5:100, 각도 그리드(angle grid)=-30:0.5:30"일 수 있다.

[0115]

도 3은 기존 2D MUSIC 알고리즘의 수행 결과를 도시한 그래프일 수 있다.

[0116]

도 3을 참조하면, 목표물 #1에 의해 반사된 신호의 크기는 목표물 #3에 의해 반사된 신호의 크기보다 크기 때문에, 목표물 #1에 의해 반사된 신호는 목표물 #3에 의해 반사된 신호에 대한 간섭으로 작용할 수 있다. 따라서 검출 장치는 목표물 #3의 파라미터들(예를 들어, 거리, 방위각, 속도)을 정확하게 추정하지 못할 수 있다.

[0117]

반면, 직교 투영법에 기초한 간섭 제거 기법이 적용된 2D MUSIC 알고리즘이 사용되면, 검출 장치는 수신 신호에 기초하여 목표물 #1의 파라미터들을 추정할 수 있고, 수신 신호에서 목표물 #1에 의해 야기되는 간섭을 제거한 제1 신호를 도출할 수 있고, 제1 신호에 기초하여 목표물 #2의 파라미터들을 추정할 수 있고, 제1 신호에서 목표물 #2에 의해 야기되는 간섭을 제거한 제2 신호를 도출할 수 있고, 제2 신호에 기초하여 목표물 #3의 파라미터들을 추정할 수 있다. 직교 투영법에 기초한 간섭 제거 기법이 적용된 2D MUSIC 알고리즘의 수행 결과는 아래 도 4와 같을 수 있다.

[0118]

도 4는 직교 투영법에 기초한 간섭 제거 기법이 적용된 2D MUSIC 알고리즘의 수행 결과를 도시한 그래프일 수 있다.

[0119]

도 4를 참조하면, 검출 장치는 목표물 #1 내지 #3 각각의 속도 및 방위각을 정확하게 추정할 수 있고, 속도 및

방위각에 기초하여 목표물 #1 내지 #3 각각의 거리를 추정할 수 있다.

[0120] 한편, 기존 2D MUSIC 알고리즘이 사용되는 경우, 120×120 그리드에 대하여 수학적 12의 근들을 도출하기 위해 복잡한 계산 과정이 필요할 수 있다. 또한, 기존 2D MUSIC 알고리즘이 사용되는 경우, 검출 장치는 FFT를 수행함으로써 목표물의 거리를 추정할 수 있다. 이 경우, 추정 오류가 발생할 수 있다. 예를 들어, 거리 추정시에 다음과 같이 오류가 발생할 수 있다.

[0121] 도 5는 기존 2D MUSIC 알고리즘에 의해 발생하는 오류를 도시한 그래프이다.

[0122] 도 5를 참조하면, 수학적 12에서 $J(v, \theta)$ 의 피크 값이 잘못 결정되는 경우, 검출 장치는 목표물 #1의 비트 주파수가 목표물 #3의 비트 주파수와 동일한 것으로 판단할 수 있다. 이에 따라, 검출 장치는 목표물 #1의 거리를 69.8679m로 판단할 수 있고, 목표물 #2의 거리를 80.0051m로 판단할 수 있고, 목표물 #3의 거리를 69.8679m로 판단할 수 있다. 즉, 검출 장치에 의해 추정된 목표물 #3의 거리는 표 2에 정의된 목표물 #3의 거리와 다를 수 있다.

[0123] 한편, 기존 2D MUSIC 알고리즘에 의해 추정된 속도에 대한 MSE(mean squared error)와 본 발명에서 제안된 2D MUSIC 알고리즘에 의해 추정된 속도에 대한 MSE는 아래 표 3과 같을 수 있다.

표 3

알고리즘 \ SNR	0	5	10	15	20	25
기존 2D MUSIC	53.9	53.1	55.5	55.2	55.2	55.1
직교 투영법에 기초한 간섭 제거 기법이 적용된 2D MUSIC	2.24×10^{-3}	2.41×10^{-3}	2.50×10^{-3}	2.57×10^{-3}	2.56×10^{-3}	2.60×10^{-3}
저복잡도 근사화에 기초한 2D 루트 MUSIC	0.34	0.16	0.52	0.27	0.46	0.29

[0124] 기존 2D MUSIC 알고리즘에 의해 추정된 방위각에 대한 MSE와 본 발명에서 제안된 2D MUSIC 알고리즘에 의해 추정된 방위각에 대한 MSE는 아래 표 4와 같을 수 있다.

표 4

알고리즘 \ SNR	0	5	10	15	20	25
기존 2D MUSIC	715	713	717	723	723	721
직교 투영법에 기초한 간섭 제거 기법이 적용된 2D MUSIC	175	175	175	176	172	172
저복잡도 근사화에 기초한 2D 루트 MUSIC	1.86	3.08	2.01	2.15	1.64	1.99

[0126] 본 발명에 따른 방법들은 다양한 컴퓨터 수단을 통해 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위해 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다.

[0128] 컴퓨터 판독 가능 매체의 예에는 롬(rom), 램(ram), 플래시 메모리(flash memory) 등과 같이 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러(compiler)에

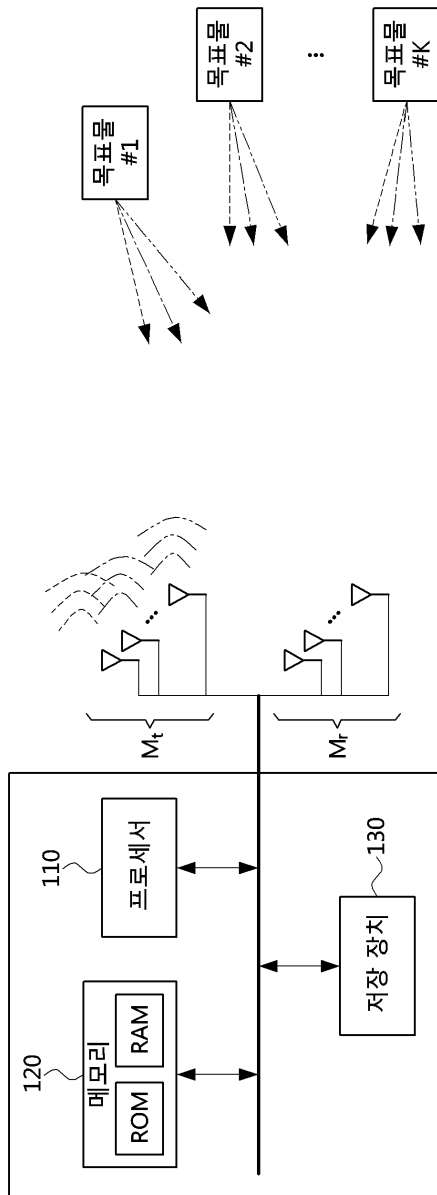
의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터(interpreter) 등을 사용해서 컴퓨터에 의해 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상술한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 적어도 하나의 소프트웨어 모듈로 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0129]

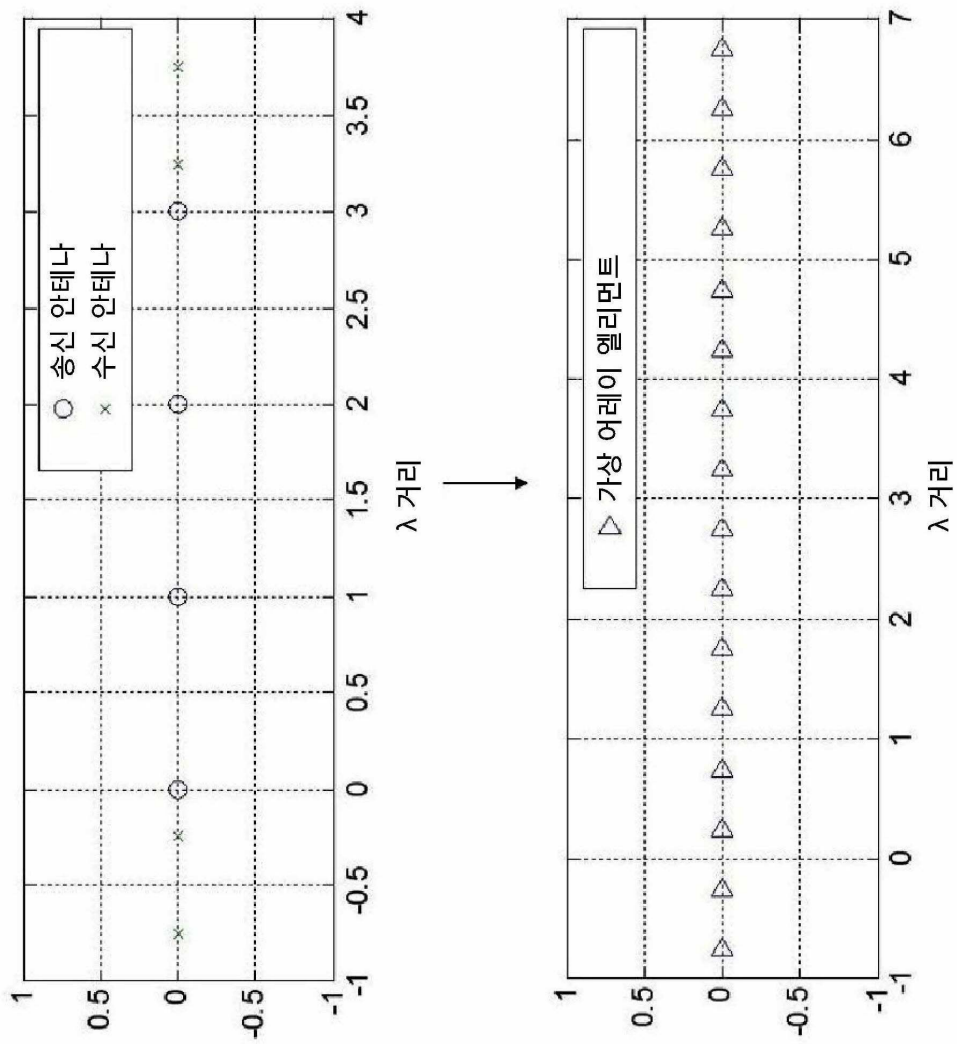
이상 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

도면

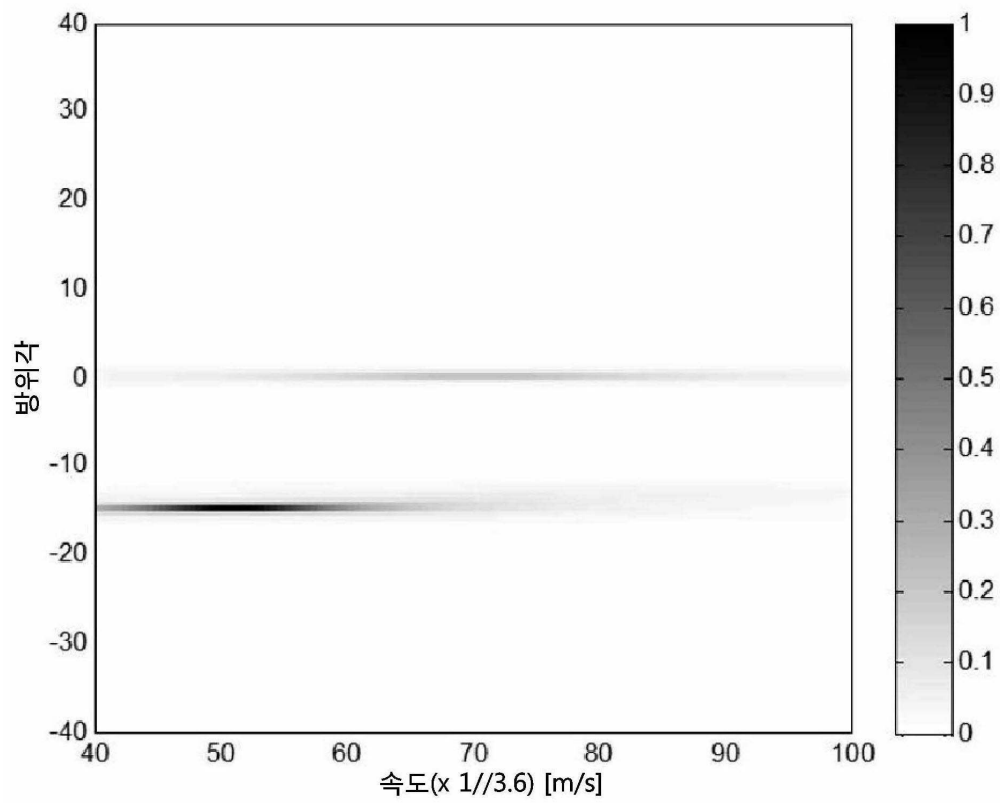
도면1



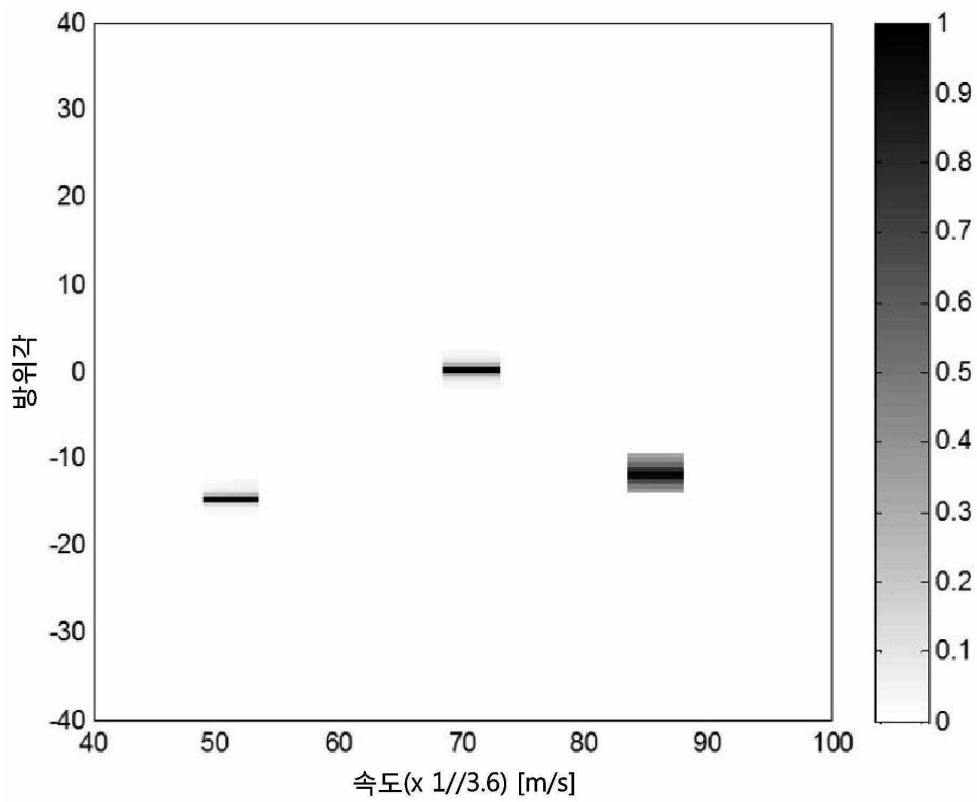
도면2



도면3



도면4



도면5

