(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0084923
(43) 공개일자 2023년06월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 13/58 (2006.01) *G01S 7/35* (2006.01)
G06N 3/02 (2023.01)
(52) CPC특허분류
G01S 13/583 (2013.01)
G01S 7/356 (2021.05)
(21) 출원번호 10-2021-0173094
(22) 출원일자 2021년12월06일
심사청구일자 2021년12월06일

(71) 출원인
한발대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
정의림
대전광역시 유성구 어은로 57 한빛아파트 101동 1802호
최재웅
대전광역시 유성구 지족북로 33 한화꿈에그린1블럭 101동 2801호
(74) 대리인
이은철

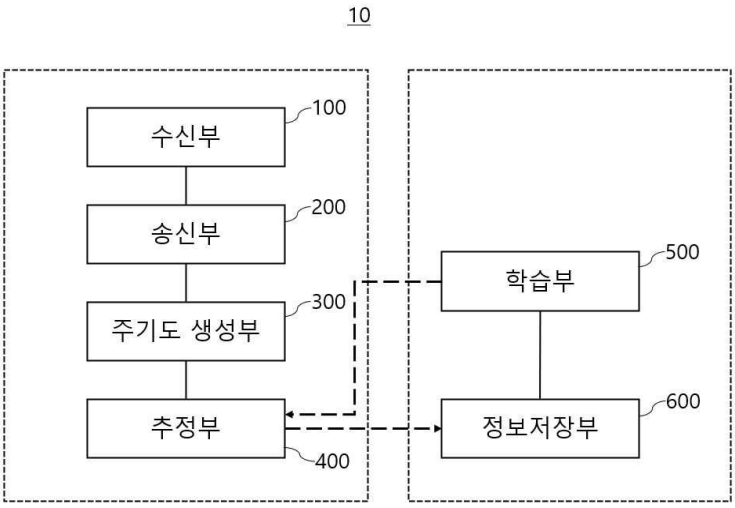
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **인공신경망 기반의 표적 거리 및 속도 추정 시스템 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은, 신호를 전송하는 송신부; 표적으로부터 반사된 OFDM 심볼을 묶음으로 수신하고 2차원 형태로 쌓아 주파수 영역 신호인 수신신호로 변환하는 수신부; 상기 수신부에서 변환한 수신신호에서 변조효과를 제거하고, 윈도우 행렬을 각 원소 별로 곱한 후, 2차원 DFT(Discrete Fourier Transform)을 수행하고 각 원소의 절대값을 제곱하여 2차원 주기도를 생성하고 특정 영역 크기로 자른 주기도 생성부; 및 상기 주기도 생성부에서 일정 영역 크기의 2차원 주기도를 학습된 인공신경망에 입력하여 표적과의 거리 및 속도를 추정하는 추정부;를 포함하는 것을 일 특징으로 한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G06N 3/02 (2023.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711125891
과제번호 2018-0-01663-004
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 정보통신기획평가원
연구사업명 방송통신산업기술개발(R&D,정보화)
연구과제명 통신-센싱 융합 B5G 밀리미터파 응용 시스템 개발
기 여 율 1/1
과제수행기관명 광운대학교 산학협력단
연구기간 2018.07.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

신호를 전송하는 송신부;

표적으로부터 반사된 OFDM 심볼을 묶음으로 수신하고 2차원 형태로 쌓아 주파수 영역 신호인 수신신호로 변환하는 수신부;

상기 수신부에서 변환한 수신신호에서 변조효과를 제거하고, 윈도우 행렬을 각 원소 별로 곱한 후, 2차원 DFT(Discrete Fourier Transform)을 수행하고 각 원소의 절대값을 제곱하여 2차원 주기도를 생성하고 일정 영역 크기로 자르는 주기도 생성부; 및

상기 주기도 생성부에서 생성한 일정 영역 크기의 2차원 주기도를 학습된 인공신경망에 입력하여 표적과의 거리 및 속도를 추정하는 추정부;를 포함하는 표적 거리 및 속도 추정 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 송신부는,

데이터를 변조한 후 직렬신호를 병렬신호로 변환하여 생성한 송신신호에 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 수행하여 시간 영역 신호로 변환하고, 변환된 시간 영역 신호에 CP(Cyclic Prefix)를 삽입한 OFDM 심볼을 전송하는 것을 특징으로 하는 표적 거리 및 속도 추정 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 송신부는,

OFDM 심볼을 묶음으로 전송하는 것을 특징으로 하는 표적 거리 및 속도 추정 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 수신부는,

표적으로부터 반사된 OFDM 심볼을 수신하고, 수신된 OFDM 심볼에서 CP를 제거하여 시간 영역 신호로 변환한 후 FFT를 수행하여 주파수 영역 신호인 수신신호로 변환하고 묶음으로 수신된 신호를 쌓아 주파수 영역 수신 $^{N\times M}$ 행렬로 만드는 것을 특징으로 하는 표적 거리 및 속도 추정 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서

상기 주기도 생성부는,

주파수 영역 수신 $^{N\times M}$ 행렬의 원소를 송신 $^{N\times M}$ 행렬의 각 원소로 나누어 변조효과를 제거하는 것을 특징으

로 하는 표적 거리 및 속도 추정 시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 주기도 생성부는,

변조효과가 제거된 수신 $^{N\times M}$ 행렬에 윈도우 행렬을 원소 별로 곱한 후, 2차원 DFT($^{N_{FFT}\times M_{FFT}}$)를 수행하고 각 원소의 절대값을 제곱하여 2차원 주기도를 생성하는 특징으로 하는 표적 거리 및 속도 추정 시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 주기도 생성부는,

생성된 주기도($^{N_{FFT}\times M_{FFT}}$)에서 추적하고자 하는 표적의 최대 거리와 속도에 맞게 특정 크기 영역으로 2차원 주기도($^{S\times S}$)를 자르는(Crop) 것을 특징으로 하는 표적 거리 및 속도 추정 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 추정부는,

특정 크기 영역으로 잘린 주기도(Cropped Periodogram)를 입력으로 하는 다중 출력 인공신경망을 이용하여 표적의 거리 및 속도를 추정하는 특징으로 하는 표적 거리 및 속도 추정 시스템.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

특정 크기 영역으로 잘린 주기도(Cropped Periodogram)와 거리 및 속도 레이블(정답)을 입력받아 거리 추정 에러와 속도 추정 에러의 가중치 합의 평균을 최소화하도록 학습시키는 학습부;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 표적 거리 및 속도 추정 시스템.

청구항 10

신호를 전송하는 송신단계;

표적으로부터 반사된 OFDM 심볼을 묶음으로 수신하고 2차원 형태로 쌓아 주파수 영역 신호인 수신신호로 변환하는 수신단계;

상기 수신단계에서 변환한 수신신호에서 변조효과를 제거하고, 윈도우 행렬을 각 원소 별로 곱한 후, 2차원 DFT(Discrete Fourier Transform)을 수행하고 각 원소의 절대값을 제곱하여 2차원 주기도를 생성하고 특정 영역 크기로 자른 주기도 생성단계; 및

상기 주기도 생성단계에서 생성한 일정 영역 크기의 2차원 주기도를 학습된 인공신경망에 입력하여 표적과의 거리 및 속도를 추정하는 추정단계;를 포함하는 표적 거리 및 속도 추정 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 표적 거리 및 속도 추정 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 특히 주기도를 인공신경망에 입력하여 표적 거리 및 속도를 추정하는 인공신경망 기반의 표적 거리 및 속도 추정 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 최근 상업, 산업, 군사와 항공 분야에서 다양한 데이터 전송과 높은 전송속도가 요구되고 있으며 이에 따른 대역폭 수요가 증가하고 있다. 이러한 요구로 인해 주파수 스펙트럼이 과밀화되고 스펙트럼 자원이 부족해져 주파수를 공유 또는 재사용 하는 것에 관심이 높아지고 있다.

[0004] 주파수 자원 공유를 위해서는 간섭을 줄여야 하는데 빔포밍(beamforming) 기법은 원하는 사용자 방향으로만 신호를 전송하고 다른 방향으로는 전송되지 않도록 하여 간섭을 줄이고 주파수 공유를 쉽게 하는 중요한 기술로 인식되고 있다. 하지만, 상대방이 이동하는 상황에서 빔포밍을 위한 실시간 위치 추적은 해결해야 하는 어려운 문제로 알려져 있다. 한 가지 해결방안으로 통신시스템이 레이다 기능을 탑재하여 상대(표적)와의 거리, 속도, 방향 정보를 얻을 수 있다면 실시간 빔 추적(Beam Tracking)이 용이할 것이다.

[0005] 레이다 기술 중, 최근 관심을 받고 있는 직교 주파수 분할 다중화(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 레이다는 통신신호를 이용하여 레이다 신호처리를 수행하므로, 데이터 전송과 동시에 레이다 기능을 수행할 수 있어 추가 주파수 자원 할당 없이 통신과 레이다 기능을 동시에 지원할 수 있는 기술로 알려져 있다. OFDM 신호는 다중 경로 페이딩 환경에 견고하며 자원 관리에 높은 유연성을 가져 오늘날 대부분의 통신시스템에 적용되고 있다. 뿐만 아니라, 광대역 OFDM 신호는 미세한 거리(Range)와 도플러 주파수(Doppler Frequency) 분해능을 위한 신호로써도 적합한 것으로 알려져 있다.

[0006] 통신신호를 활용한 OFDM 레이다 관련 연구는 최근 많이 진행되고 있다. SDR(Software Defined Ratio) 플랫폼을 이용한 실험 및 가능성 검증이 이루어졌으며, LTE와 5G NR 전송신호에 기반한 이동통신과 레이다 시스템의 융합 문제도 언급되고 있다. 이러한 기존 연구들은 시뮬레이션과 실험을 통해 OFDM 레이다의 타당성을 검증하였으나 움직이는 표적의 거리와 속도를 추정하기 위한 새로운 기술은 제시하지 못하고 있다.

[0007] 또 다른 연구분야로, 기존 레이다 문제에 딥러닝(Deep Learning)을 적용하여 해결하는 연구도 최근 많이 진행되고 있다. 저전력 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 레이다 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN)을 이용하여 손동작을 인식하는 방법이 제안되었으며, HFSW(High Frequency Surface Wave) 레이다에 Faster R-CNN을 적용하여 클러터(Clutter)와 간섭(Interference) 신호를 자동으로 검출하는 방법에 대해 연구된 바 있다. Range-Azimuth-Doppler 레이다 신호에서 딥러닝을 이용한 차량 검출 연구도 진행된 바 있다. 하지만, OFDM 레이다 시스템에서 인공신경망(Artificial Neural Network)을 이용한 표적의 거리 및 속도 추정 문제는 기존에 다루어진 바 없다.

선행기술문헌

특허문헌

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 OFDM 레이다에서 움직이는 표적의 거리와 속도를 추정할 수 있는 인공신경망 기반의 표적 거리 및 속도 추정 시스템 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명은, 신호를 전송하는 송신부; 표적으로부터 반사된 OFDM 심볼을 묶음으로

수신하고 2차원 형태로 쌓아 주파수 영역 신호인 수신신호로 변환하는 수신부; 상기 수신부에서 변환한 수신신호에서 변조효과를 제거하고, 윈도우 행렬을 각 원소 별로 곱한 후, 2차원 DFT(Discrete Fourier Transform)을 수행하고 각 원소의 절대값을 제곱하여 2차원 주기도를 생성하고 일정 영역 크기로 자르는 주기도 생성부; 및 상기 주기도 생성부에서 생성한 일정 영역 크기의 2차원 주기도를 학습된 인공신경망에 입력하여 표적과의 거리 및 속도를 추정하는 추정부;를 포함하는 것을 일 특징으로 한다.

[0013] 바람직하게는 상기 송신부는, 데이터를 변조한 후 직렬신호를 병렬신호로 변환하여 생성한 송신신호에 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 수행하여 시간 영역 신호로 변환하고, 변환된 시간 영역 신호에 CP(Cyclic Prefix)를 삽입한 OFDM 심볼을 전송할 수 있다.

[0014] 바람직하게는, 상기 송신부는, OFDM 심볼을 묶음으로 전송할 수 있다.

[0015] 바람직하게는, 상기 수신부는, 표적으로부터 반사된 OFDM 심볼을 수신하고, 수신된 OFDM 심볼에서 CP를 제거하여 시간 영역 신호로 변환한 후 FFT를 수행하여 주파수 영역 신호인 수신신호로 변환하고 묶음으로 수신된 신호를 쌓아 주파수 영역 수신 $^{N\times M}$ 행렬로 만들 수 있다.

[0016] 바람직하게는, 상기 주기도 생성부는, 주파수 영역 수신 $^{N\times M}$ 행렬의 원소를 송신 $^{N\times M}$ 행렬의 각 원소로 나누어 변조효과를 제거할 수 있다.

[0017] 바람직하게는, 상기 주기도 생성부는, 변조효과가 제거된 수신 $^{N\times M}$ 행렬에 윈도우 행렬을 원소 별로 곱한 후, 2차원 DFT($^{N_{FFT}\times M_{FFT}}$)를 수행하고 각 원소의 절대값을 제곱하여 2차원 주기도를 생성할 수 있다.

[0018] 바람직하게는, 상기 주기도 생성부는, 생성된 주기도($^{N_{FFT}\times M_{FFT}}$)에서 추적하고자 하는 표적의 최대 거리와 속도에 맞게 특정 크기 영역으로 2차원 주기도($^{S\times S}$)를 자를(Crop) 수 있다.

[0019] 바람직하게는, 상기 추정부는, 특정 크기 영역으로 잘린 주기도(Cropped Periodogram)를 입력으로 하는 다중 출력 인공신경망을 이용하여 표적의 거리 및 속도를 추정할 수 있다.

[0020] 바람직하게는, 특정 크기 영역으로 잘린 주기도(Cropped Periodogram)와 거리 및 속도 레이블(정답)을 입력받아 거리 추정 에러와 속도 추정 에러의 가중치 합의 평균을 최소화하도록 학습시키는 학습부;를 더 포함할 수 있다.

[0021] 또한 본 발명은, 신호를 전송하는 송신단계; 표적으로부터 반사된 OFDM 심볼을 묶음으로 수신하고 2차원 형태로 쌓아 주파수 영역 신호인 수신신호로 변환하는 수신단계; 상기 수신단계에서 변환한 수신신호에서 변조효과를 제거하고, 윈도우 행렬을 각 원소 별로 곱한 후, 2차원 DFT(Discrete Fourier Transform)을 수행하고 각 원소의 절대값을 제곱하여 2차원 주기도를 생성하고 특정 영역 크기로 자른 주기도 생성단계; 및 상기 주기도 생성단계에서 생성한 일정 영역 크기의 2차원 주기도를 학습된 인공신경망에 입력하여 표적과의 거리 및 속도를 추정하는 추정단계;를 포함하는 것을 다른 특징으로 한다.

발명의 효과

[0023] 본 발명에 따르면, 추정부는 인공신경망을 이용하여 주기도 이외에 추가적인 정보 없이 표적의 거리 및 속도를 추정할 수 있다는 이점이 있다.

[0024] 또한 본 발명은, 학습을 통해 클러터 유무에 상관없이 정확한 표적의 거리 및 속도를 추정할 수 있다는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 표적 거리 및 속도 추정 시스템의 구성도를 나타낸다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 표적 거리 및 속도 추정을 위한 OFDM 레이다 시스템 모델을 나타낸다.

도 3은 주기도 생성부가 생성한 주기도로서, 도 3의 (a)는 클러터가 없는 주기도를 나타내고, 도 3의 (b)는 클

러터가 있는 주기도를 나타낸다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 추정부에서 사용하는 다중 출력 합성곱 신경망의 구조를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 이하, 첨부된 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명을 상세히 설명한다. 다만, 본 발명이 예시적 실시 예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일 참조부호는 실질적으로 동일한 기능을 수행하는 부재를 나타낸다.

[0028] 본 발명의 목적 및 효과는 하기의 설명에 의해서 자연스럽게 이해되거나 보다 분명해 질 수 있으며, 하기의 기재만으로 본 발명의 목적 및 효과가 제한되는 것은 아니다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.

[0029] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 표적 거리 및 속도 추정 시스템(10)의 구성도를 나타낸다. 도 1을 참조하면, 표적 거리 및 속도 추정 시스템(10)은 송신부(100), 수신부(200), 주기도 생성부(300), 추정부(400), 학습부(500), 및 정보저장부(600)를 포함할 수 있다.

[0030] 표적 거리 및 속도 추정 시스템(10)은 표적으로부터 반사되어 돌아온 OFDM 심볼을 쌓아 2차원 형태로 만들어 레이다 신호처리를 통해 2차원 주기도를 얻어 인공신경망에 입력해 거리와 속도를 동시에 추정할 수 있다. 표적 거리 및 속도 추정 시스템(10)은 5G 또는 6G 이동 통신에 적용하여 기지국과 이동국 사이에서 통신과 동시에 레이다 신호처리를 수행할 수 있다. 표적 거리 및 속도 추정 시스템(10)은 실시간 빔포밍과 빔 추적을 구현할 수 있다. 표적 거리 및 속도 추정 시스템(10)은 밀리미터파를 사용하는 군 통신시스템에 활용될 수 있다.

[0031] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 표적 거리 및 속도 추정을 위한 OFDM 레이다 시스템 모델을 나타낸다. 도 2를 참조하면, 표적 거리 및 속도 추정 시스템(1)은 데이터를 변조하여 신호처리 후 송신신호를 전송할 수 있다. 표적 거리 및 속도 추정 시스템(10)은 표적에 반사된 신호를 수신하고 신호처리하여 수신신호로 변환할 수 있다. 표적 거리 및 속도 추정 시스템(10)은 수신신호로부터 2차원 주기도를 생성할 수 있다. 표적 거리 및 속도 추정 시스템(10)은 2차원 주기도를 인공신경망에 입력하여 표적의 거리 및 속도를 추정할 수 있다.

[0032] 송신부(100)는 신호를 전송할 수 있다. 송신부(100)가 전송한 신호는 표적에 반사되어 수신부(200)에서 수신될 수 있다. 송신부(100)는 변조 또는 IFFT 등의 신호처리된 신호를 전송할 수 있다.

[0033] 송신부(100)는 데이터를 변조한 후 직렬신호를 병렬신호로 변환하여 생성한 송신신호에 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 수행하여 시간 영역 신호로 변환하고, 변환된 시간 영역 신호에 CP(Cyclic Prefix)를 삽입한 OFDM 심볼을 전송할 수 있다. 송신부(100)에서 m번째 전송신호 벡터는 $x_m=[x_{0,m},x_{1,m},\cdots,x_{N-1,m}]^T$ 으로 정의될 수 있다. 여기서 N은 IFFT(Inverse FFT) 크기이고, $x_{n,m}$은 디지털 변조를 통해 생성된 복소수이다.

[0034] 송신부(100)는 IFFT(Inverse FFT) 수행하여 x_m을 시간 영역 신호인 $x'_m=[x'_{0,m},x'_{1,m},\cdots,x'_{N-1,m}]^T$로 변환할 수 있다. 송신부(100)는 IFFT 수행 후 병렬신호를 직렬신호로 변환할 수 있다. 송신부(100)는 x'_m(시간 영역 신호)에 CP를 삽입하여 OFDM 심볼인 $x''_m=[x'_{N-L_c,m},\cdots,x'_{N-1,m},x'_{0,m},x'_{1,m},\cdots,x'_{N-1,m}]^T$로 변환할 수 있다. 여기서 L_c는 CP의 길이이다. 송신부(100)에서 생성한 x_m을 이하 송신신호라고 정의한다. 송신부(100)에서 송신한 OFDM 심볼인 x''_m은 신호 감쇠로 인해 표적으로부터 반사된 수신 OFDM 심볼과 다르게 측정될 수 있다.

[0035] 송신부(100)는 OFDM 심볼을 묶음으로 전송할 수 있다. 송신부(100)는 M개의 OFDM 심볼을 연속해서 전송할 수 있다. 송신부(100)에서 전송된 신호 묶음을 프레임이라고 정의할 수 있다.

[0036] 수신부(200)는 표적으로부터 반사된 OFDM 심볼을 묶음으로 수신하고 2차원 형태로 쌓아 주파수 영역 신호인 수신신호로 변환할 수 있다. 수신부(200)는 표적으로부터 반사된 신호를 수신할 수 있다.

[0037] 수신부(200)는 표적으로부터 반사된 OFDM 심볼을 수신하고, 수신된 OFDM 심볼에서 CP를 제거하여 시간 영역 신호로 변환한 후 FFT를 수행하여 주파수 영역 신호인 수신신호로 변환하고 묶음으로 수신된 신호를 쌓아 주파수

영역 수신 $N\times M$ 행렬로 만들 수 있다.

[0038] 수신부(200)는 표적으로부터 반사되어 감쇠된 OFDM 심볼인 $y''_m=[y'_{N-L_c,m},\cdots,y'_{N-1,m},y'_{0,m},y'_{1,m},\cdots,y'_{N-1,m}]^T$ 를 수신할 수 있다. 수신부(200)는 수신된 OFDM 심볼인 y''_m에서 CP를 제거한 후 병렬 형태로 변환하여 $y'_m=[y'_{0,m},y'_{1,m},\cdots,y'_{N-1,m}]^T$ 으로 변환할 수 있다. 수신부(200)는 FFT를 수행하여 y'_m를 $y_m=[y_{0,m},y_{1,m},\cdots,y_{N-1,m}]^T$ 로 변환할 수 있다. 수신부(200)에서 생성한 y_m을 이하 수신신호라고 정의한다.

[0040] [수학식 1]

[0041]
$$X=\begin{pmatrix} x_{0,0} & x_{0,1} & \cdots & x_{0,M-1} \\ x_{1,0} & x_{1,1} & \cdots & x_{1,M-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N-1,0} & x_{N-1,1} & \cdots & x_{N-1,M-1} \end{pmatrix}$$

[0043] [수학식 2]

[0044]
$$Y=\begin{pmatrix} y_{0,0} & y_{0,1} & \cdots & y_{0,M-1} \\ y_{1,0} & y_{1,1} & \cdots & y_{1,M-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{N-1,0} & y_{N-1,1} & \cdots & y_{N-1,M-1} \end{pmatrix}$$

[0046] 수신부(200)는 수신신호를 2차원 신호로 변환할 수 있다. 수신부(200)는 연속해서 수신된 M개의 OFDM 심볼에 대해 변환을 반복하고 쌓아 2차원 신호를 생성할 수 있다. 송신부(100)에서 전송한 2차원 신호와 수신부(200)에서 수신한 2차원 신호는 각각 [수학식 1]과 [수학식 2]로 나타낼 수 있다. [수학식 1]과 [수학식 2]에서 각 행은 부반송파를 나타내고, 각 열은 OFDM 심볼의 인덱스를 나타낸다. 예를 들어, $x_{k,l}$은 $l+1$번째 ODFM 심볼에서 $k+1$번째 부반송파를 가리킨다.

[0047] 주기도 생성부(300)는 변환한 수신신호에서 변조효과를 제거하고, 윈도우 행렬을 각 원소 별로 곱한 후, 2차원 DFT(Discrete Fourier Transform)을 수행하고 각 원소의 절대값을 제곱하여 2차원 주기도를 생성하고 일정 영역 크기로 자를 수 있다. 주기도 생성부(300)는 주파수 영역 수신 $N\times M$ 행렬의 원소를 송신 $N\times M$ 행렬의 각 원소로 나누어 변조효과를 제거할 수 있다.

[0048] 주기도 생성부(300)에서 2차원 주기도를 생성하는 원리를 이해하기 위해 [수학식 1]과 [수학식 2]의 X, Y가 어떠한 차이가 있는지 이하 설명한다.

[0049] 송신부(100)의 최종 샘플링 주파수를 f_s, 반송파 주파수는 f_c, 부반송파 간격은 $\Delta f(=f_s/N)$라고 정의한다. 이 정의에 따라 OFDM 심볼의 길이는 $T(=1/\Delta f)$이며 보호 구간의 길이는 $T_G(=L_c/f_s)$이다. CP를 포함한 OFDM 심볼의 시간 길이는 $T_O(=T+T_G)$이다. 시간 영역의 송신신호와 수신신호를 각각 $s(t)$, $r(t)$라고 정의한다.

[0051] [수학식 3]

$$r(t)=\sum_{h=0}^{H_t-1} b_h s(t-\tau_h)e^{j2\pi f_{D,h}t}e^{j\phi_h} + \sum_{i=0}^{H_c-1} b_i s(t-\tau_i)e^{j\phi_i}+\tilde{z}(t)$$

[0052]

[0054] 수신신호 $r(t)$는 표적들에 의해 반사된 송신신호 $s(t)$의 중첩과 잡음 등으로 구성될 수 있다. 송신신호와 함께 고정된 지형지물에 의해 반사된 클러터 성분도 수신될 수 있다. 이러한 환경을 고려하면 수신신호 $r(t)$는 [수학식 3]과 같이 나타낼 수 있다. 여기에서, H_t는 표적의 개수, H_c는 클러터 개수를 의미한다. τ_h는 위상 변이를 발생시키는 반사된 신호의 시간지연을 나타낸다.

[0056] [수학식 4]

$$y_{k,l}=\sum_{h=0}^{H_t-1} b_h x_{k,l}e^{j2\pi T_0 f_{D,h}l}e^{-j2\pi\tau_h\Delta fk}e^{j\phi_h} + \sum_{i=0}^{H_c-1} b_i x_{k,l}e^{-j2\pi\tau_i\Delta fk}e^{j\phi_i}+\tilde{z}_{k,l}$$

[0057]

[0059] [수학식 5]

$$b_h=\sqrt{\frac{c_0\sigma_{RCS,h}}{(4\pi)^3 d_h^4 f_c^2}}$$

[0060]

[0062] 위상 변이 값은 주파수의 함수이므로 부반송파마다 다르게 나타난다. 따라서, [수학식 2]의 $y_{k,l}$ 원소를 $x_{k,l}$의 함수로 나타내면 [수학식 4]와 같다. 시간지연 τ_h은 거리에 의해 발생하며 $2\times d_h/c_0$와 같이 계산된다. 도플러 주파수는 $f_{Dh}=(2\times v_{rel,h}/c_0)$이며 $v_{rel,h}$와 c_0는 각각 표적의 상대 속도와 광속도를 가리킨다. ϕ_h는 미상의 위상 편차이며, b_n는 반사된 신호의 크기이다. 신호 감쇠값인 b_n는 [수학식 5]로 나타낼 수 있다. 여기에서, $\sigma_{RCS,h}$는 레이다 단면적(Radar Cross Section)으로 표적에서 반사된 에너지의 척도로써 표적의 크기를 나타낸다.

[0064] [수학식 6]

$$f(d_c;\eta;\beta)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{d_c}{\eta}\right)^{\beta-1}e^{-(d_c/\eta)^{\beta}}$$

[0065]

[0067] [수학식 6]은 클러터에 의한 반사 신호를 나타낸다. 클러터 성분의 도플러 주파수는 0에 가깝다. 여기에서, η와 β는 각각 클러터의 크기(Scale)와 형상(Shape) 모수이다.

[0069] [수학식 7]

$$\bar{y}_{k,l} \triangleq y_{k,l}/x_{k,l} = \sum_{h=0}^{H_r-1} b_h e^{j2\pi T_0 f_{D,h} l} e^{-j2\pi\tau_h \Delta f k} e^{j\phi_h} + \sum_{i=0}^{H_c-1} b_i e^{-j2\pi\tau_i \Delta f k} e^{j\phi_i} + z_{k,l}$$

[0070]

[0072] Y에서 변조효과를 제거하기 위해 Y의 각 원소를 X의 각원소로 나누면 [수학식 7]과 같다. 여기에서, $\bar{y}_{k,l}$는 변조효과 제거 후의 원소를 나타내며, 제거 후 2차원 행렬은 $\bar{Y}$로 표시한다. $z_{k,l}(=\tilde{z}_{k,l}/c_{k,l})$은 가우시안 잡음이다.

[0073] [수학식 7]에서 첫 번째 유한 합을 관찰하면 두 개의 지수함수의 곱으로 이루어진 것을 알 수 있다. 첫 번째 지수함수는 도플러 주파수(f_{Dh})를 포함하고 있으며, 두 번째 지수함수는 시간지연(τ_h)을 포함하고 있다. 레이다 단면적은 수신신호의 크기로부터 찾을 수 있다. 즉, 첫 번재 지수함수로부터 속도를 추정할 수 있고, 두 번째 지수함수로부터 거리를 추정할 수 있다.

[0074] 주기도 생성부(300)는 두 개의 복소 지수함수를 분리하고 거리와 속도를 추정하기 위해 2차원 이산푸리에 변환(DFT)을 수행하며 각 원소의 절대값을 제곱하여 2차원 주기도를 생성할 수 있다. 주기도 생성부(300)는 변조효과가 제거된 수신 $N\times M$ 행렬에 윈도우 행렬을 원소 별로 곱한 후, 2차원 DFT($N_{FFT}\times M_{FFT}$)를 수행하고 각 원소의 절대값을 제곱하여 2차원 주기도를 생성할 수 있다.

[0076] [수학식 8]

$$R_{n,m} = \frac{1}{NM}\left|\sum_{k=0}^{N-1}\sum_{l=0}^{M-1} \bar{y}_{k,l} w_k w_l' {}^T e^{-j2\pi\left(\frac{kn}{N_{FFT}}+\frac{lm}{M_{FFT}}\right)}\right|^2$$

[0077]

[0079] [수학식 9]

$$W = w_N w_M^T, w_N \in \mathbb{R}^{N\times 1}, w_M \in \mathbb{R}^{M\times 1}$$

[0080]

[0082] 주기도 생성부(300)는 변조효과가 제거된 $\bar{Y}$ 행렬에 윈도우 행렬 W를 원소별로 곱하고 2차원 DFT($N_{FFT}\times M_{FFT}$)를 수행한 후 각 원소의 절대값을 취한다. 주기도 생성부(300)는 $\bar{Y}$의 2차원 주기도인 $R_{n,m}$을 생성할 수 있다. $R_{n,m}$은 [수학식 8]과 같이 나타낼 수 있다. 여기에서, w_k와 w_l은 1차원 윈도우 벡터를 나타내며 각각 $w_N=[w_0, w_1, \cdots, w_{N-1}]^T$ 과 $w_M=[w_0', w_1', \cdots, w_{M-1}']^T$ 의 성분이다. w_N과 w_M으로 구성된 윈도우 행렬은 [수학식 9]와 같이 나타낼 수 있다. 주기도 생성부(300)는 DFT에 의한 리플을 줄이기 위해 윈도우 행렬을 사용할 수 있다.

[0083] 주기도 생성부(300)는 표적의 거리와 도플러 주파수가 특정 범위 내에서 제한된다면 주기도 행렬(R)의 특정 크기 영역($S\times S$)을 2차원 주기도로 생성할 수 있다. 주기도 생성부(300)가 생성한 주기도 행렬(R)의 일부 영역만으로도 추정부(400)에서 표적의 거리와 속도를 추정할 수 있다. 주기도 생성부(300)는 생성된 주기도($N_{FFT}\times M_{FFT}$)에서 추적하고자 하는 표적의 최대 거리와 속도에 맞게 특정 크기 영역으로 2차원 주기도

($S \times S$)를 자를(Crop) 수 있다.

[0085] [수학식 10]

[0086] $$d = \frac{c_0 \hat{n}}{2\Delta f N_{FFT}}$$

[0088] [수학식 11]

[0089] $$v = \frac{c_0 \hat{m}}{2 f_c T_O M_{FFT}}$$

[0091] 표적의 거리 및 속도는 주기도 생성부(300)에서 생성한 2차원 주기도의 정점을 검출하는 방식으로 추출될 수 있다. 2차원 주기도 정점의 x축과 y축은 각각 거리와 속도를 나타낸다. $(\hat{n}, \hat{m})$ 원소에서 정점이 검출되었다면, 표적의 거리와 속도는 각각 [수학식 10]과 [수학식 11]로 나타낼 수 있다.

[0093] [수학식 12]

[0094] $$\left| d_{\max} \| \frac{c_0}{2\Delta f} \right|$$

[0096] [수학식 13]

[0097] $$\left| v_{\max} \| \frac{c_0}{2 f_c T_O} \right|$$

[0099] 최대 비모호(unambiguous) 거리와 상대 속도는 부반송파의 간격이 Δf 이고 전체 OFDM 심볼 구간은 T_O이므로 각각 [수학식 12]와 [수학식 13]과 같이 나타낼 수 있다. 부반송파 간격과 전체 OFDM 심볼 수간을 작게 설계할수록 최대 비모호 거리($d_{\max}$) 및 비모호 속도($v_{\max}$)가 증가하게 된다.

[0100] 주기도 생성부(300)는 2차원 DFT의 크기를 정수배로 할 수 있다. 주기도 생성부(300)는 주기도를 생성하기 위한 2차원 DFT 크기를 $N_{FFT} \times M_{FFT}$로 할 수 있다. 주기도 생성부(300)는 N_{FFT}와 M_{FFT}를 각각 N과 M의 정수배로 설정하여 거리와 속도의 추정 분해능을 향상시킬수 있다.

[0101] 도 3은 주기도 생성부(300)가 생성한 주기도로서, 도 3의 (a)는 클러터가 없는 주기도를 나타내고, 도 3의 (b)는 클러터가 있는 주기도를 나타낸다. 주기도 생성부(300)는 표적의 거리와 속도가 각각 120m, 100km/h일 때의 2차원 주기도, R을 도 3과 같이 생성할 수 있다. 도 3을 참조하면, 클러터는 상대 속도가 0에 가까운 지점에서 관찰될 수 있다. 2차원 주기도는 표적이 멀어지는 경우 속도의 방향이 (-)로 나타나고, 표적이 가까워 지는 경우 속도의 방향이 (+)로 나타난다.

[0102] 추정부(400)는 주기도 생성부(300)에서 생성한 일정 영역 크기의 2차원 주기도를 학습된 인공신경망에 입력하여 표적과의 거리 및 속도를 추정할 수 있다. 추정부(400)는 2차원 주기도로부터 표적의 거리와 속도를 곧바로 추정할 수 있다. 추정부(400)는 클러터가 없는 환경 또는 클러터가 있는 환경에서의 2차원 주기도를 인공신경망에 입력할 수 있다. 추정부(400)는 학습된 심층 인공신경망을 이용하여 클러터의 유무와 관계없이 표적의 속도와

거리를 추정할 수 있다. 추정부(400)는 기존 기법과 달리 주기도 이외에 추가적인 정보 없이도 표적의 거리 및 속도를 추정할 수 있다.

[0103] 추정부(400)는 특정 크기 영역으로 잘린 주기도(Cropped Periodogram)를 입력으로 하는 다중 출력 인공신경망을 이용하여 표적의 거리 및 속도를 추정할 수 있다.

[0104] 추정부(400)는 인공신경망으로 다중 출력 합성곱 신경망(Multi-output Convolutinal Neural Networks)을 이용할 수 있다. CNN(Convolutional Neural Network)은 하나 또는 여러 개의 합성곱 계층과 그 위에 올려진 일반적인 인공신경망 계층들로 이루어져 있으며, 가중치와 통합 계층들을 추가로 활용한다. CNN(Convolutional Neural Network)은 기존의 인공신경망 기법들보다 쉽게 훈련되는 편이고 적은 수의 매개변수를 사용한다는 이점이 있다. 주기도 생성부(300)에서 생성하는 2차원 주기도는 흑백 이미지이므로, 추정부(400)는 이미지 분류에서 특히 뛰어난 성능을 보이는 CNN을 이용하는 것이 적합할 수 있다.

[0105] 추정부(400)는 입력 계층(Input Layer), 합성곱 계층(Convolutional Layer), 및 풀링 계층(Pool Layer)로 구성된 CNN을 이용할 수 있다. 추정부(400)는 ResNet-50의 기본 구조를 따르는 다중 출력 합성곱 신경망 모델을 이용할 수 있다.

[0106] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 추정부에서 사용하는 다중 출력 합성곱 신경망의 구조를 나타낸다. 도 4를 참조하면, 추정부(400)는 풀링 계층의 출력이 서로 다른 완전 연결 계층(Fully Connected Layer)으로 연결되는 다중 출력 합성곱 신경망을 이용할 수 있다. 추정부(400)는 일반적으로 1개의 출력 구조를 가지는 CNN과 달리 2개의 출력을 가지는 다중 출력 CNN을 이용할 수 있다. 보편적인 CNN은 1개의 출력 구조를 가져 거리와 속도를 각각 추정하기 위해 2개의 신경망이 필요한 것과 달리, 추정부(400)는 표적 1개의 거리와 속도를 추정하기 위해 1개의 CNN만을 이용할 수 있다.

[0107] 추정부(400)는 주기도 생성부(300)에서 생성한 2차원 주기도를 입력 계층, 합성곱 계층, 풀링 계층 순서로 통과하게 할 수 있다. 추정부(400)는 풀링 계층을 지난 2차원 주기도를 서로 다른 완전 연결 계층에 입력되게 하여 각각의 완전연결계층에서 표적의 거리와 속도를 동시에 추정할 수 있다.

[0108] 추정부(400)는 2차원 주기도를 크기가 $S \times S$ 인 일정한 영역을 잘라낸 행렬로 변환하여 인공신경망에 입력할 수 있다.

[0109] 학습부(500)는 특정 크기 영역으로 잘린 주기도(Cropped Periodogram)와 거리 및 속도 레이블(정답)을 입력받아 거리 추정 에러와 속도 추정 에러의 가중치 합의 평균을 최소화하도록 학습시킬 수 있다. 학습부(500)는 인공신경망을 학습시켜 주기도 이외에 SNR(Signal to Noise Ratio) 및 잡음 전력 등에 대한 추정값이 없어도 된다. 거리 및 속도 추정 정확도를 높이기 위해 학습률(Learning Rate), 최적화 기법(Optimizer) 등 하이퍼 파라미터(Hyper parameter)를 설정해 학습 손실(Loss)을 낮추는 방향으로 학습한다.

[0110] 학습부(500)는 클리터가 존재하는 2차원 주기도 신호로 인공신경망을 학습시킬 수 있다. 학습부(500)는 클리터가 존재하는 2차원 주기도와 존재하지 않는 2차원 주기도로 인공신경망을 학습시킬 수 있다. 학습부(500)는 클리터 유무에 관계없이 표적의 거리와 속도를 추정할 수 있도록 2가지 방식으로 인공신경망을 학습시킬 수 있다. 학습부(500)는 정보저장부(600)에 저장된 2차원 주기도와 거리 속도 레이블(정답)을 이용해 인공신경망을 학습할 수 있다.

[0111] 정보저장부(600)는 학습부(500)에서 사용되는 2차원 주기도, 거리 레이블, 속도 레이블 및 인공신경망의 가중치 파라미터를 저장할 수 있다. 정보저장부(600)는 이전에 추정한 2차원 주기도에 따른 표적의 거리 및 속도를 저장할 수 있다. 정보저장부(600)는 주기도 생성부(400)에서 사용되는 OFDM 묶음 신호를 저장할 수 있다.

[0112] 본 발명의 다른 실시예로, 표적 거리 및 속도 추정 방법은 송신단계, 수신단계, 주기도 생성단계, 및 추정단계를 포함할 수 있다.

[0113] 송신단계는 신호를 전송할 수 있다. 송신단계는 전술한 송신부(100)에서 수행되는 동작을 의미한다.

[0114] 수신단계는 표적으로부터 반사된 신호를 수신하여 주파수 영역 신호인 수신신호로 변환할 수 있다. 수신단계는 전술한 수신부(200)에서 수행되는 동작을 의미한다.

[0115] 주기도 생성단계는 수신단계에서 변환한 수신신호에서 변조효과를 제거하고, 윈도우 행렬을 각 원소 별로 곱한 후, 2차원 DFT(Discrete Fourier Transform)을 수행하고 각 원소의 절대값을 제곱하여 2차원 주기도를 생성하고 특정 영역 크기로 자를 수 있다. 주기도 생성단계는 전술한 주기도 생성부(300)에서 수행되는 동작을 의미한다.

[0116] 추정단계는 주기도 생성단계에서 생성한 2차원 주기도를 인공신경망에 입력하여 표적과의 거리 및 위치를 추정할 수 있다. 추정단계는 전술한 추정부(400)에서 수행되는 동작을 의미한다.

[0117] 이상에서 대표적인 실시예를 통하여 본 발명을 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리 범위는 설명한 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 특허청구범위와 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태에 의하여 정해져야 한다.

부호의 설명

[0119] 10 : 표적 거리 및 속도 추정 시스템

100 : 송신부

200 : 수신부

300 : 주기도 생성부

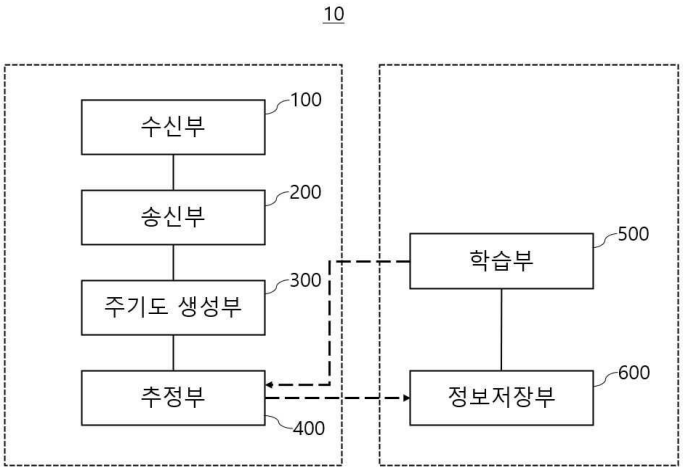
400 : 추정부

500 : 학습부

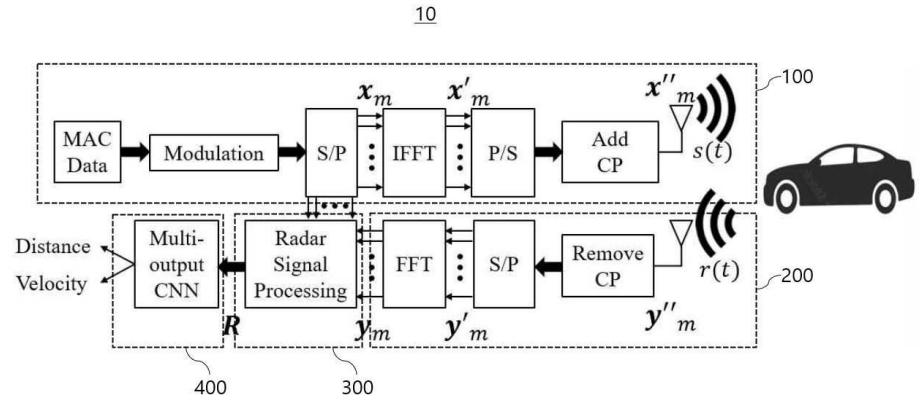
600 : 정보저장부

도면

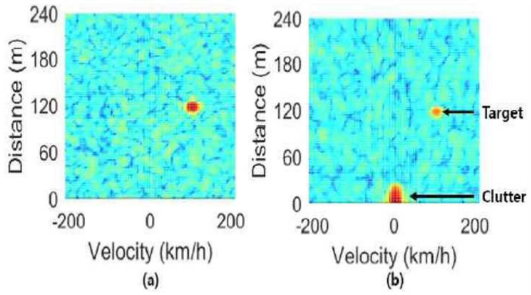
도면1



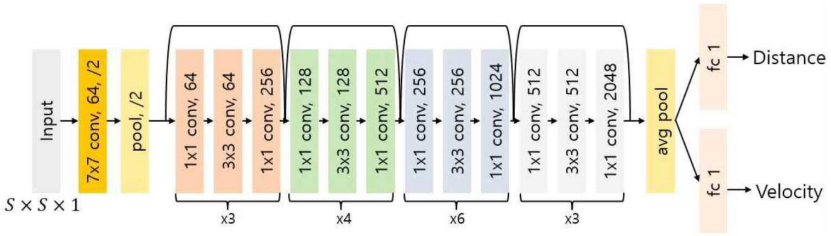
도면2


10
MAC Data
Modulation
S/P
IFFT
P/S
Add CP
100
Distance
Velocity
Multi-output CNN
Radar Signal Processing
FFT
S/P
Remove CP
200
400
300

도면3


Distance (m)
Velocity (km/h)
(a)
Target
Clutter
(b)

도면4


Input
7x7 conv, 64, /2
pool, /2
1x1 conv, 64
3x3 conv, 64
1x1 conv, 256
1x1 conv, 128
3x3 conv, 128
1x1 conv, 512
1x1 conv, 256
3x3 conv, 256
1x1 conv, 1024
1x1 conv, 512
3x3 conv, 512
1x1 conv, 2048
avg pool
fc 1
Distance
fc 1
Velocity
x3
x4
x6
x3