



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0125095
(43) 공개일자 2020년11월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 7/03 (2006.01) G01S 13/02 (2006.01)
G01S 13/89 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 7/032 (2013.01)
G01S 13/89 (2019.05)
(21) 출원번호 10-2019-0048871
(22) 출원일자 2019년04월26일
심사청구일자 2019년04월26일

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
가민호
인천광역시 서구 청라라임로 131, 266동 402호(청라동, 중흥에스클래스)
김수민
인천광역시 남동구 논고개로205번길 30-3, 204호(논현동)
(74) 대리인
민영준

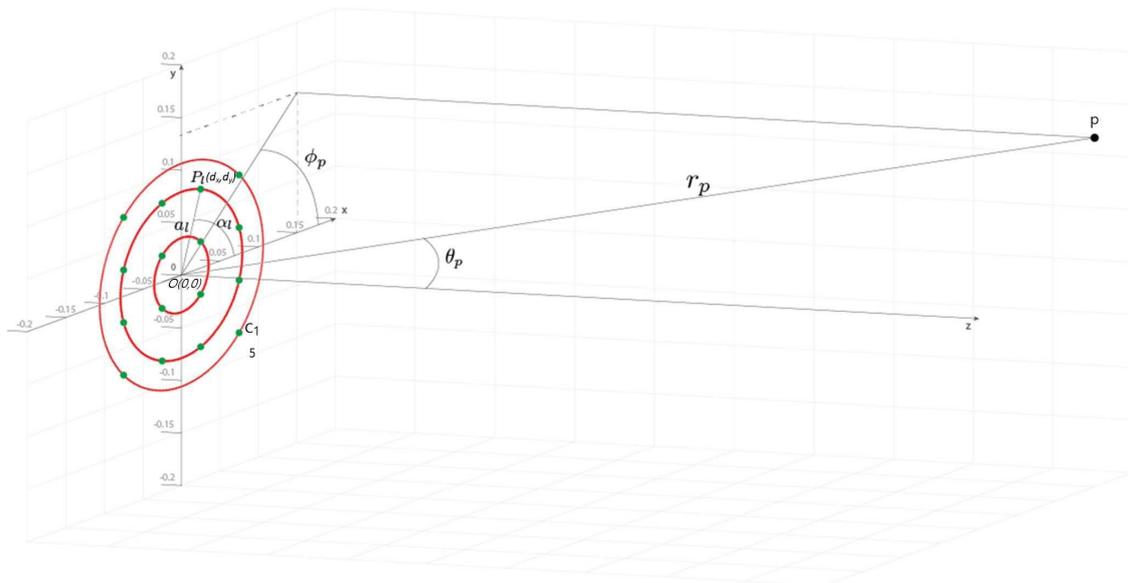
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 배열 안테나의 회전을 이용한 레이다 및 이의 3차원 영상 획득 방법

(57) 요약

본 발명은 다수의 안테나가 배열된 배열 안테나부, 다수의 안테나가 배열된 평면에서 미리 지정된 회전 원점을 중심으로 배열 안테나부를 평면에 평행하게 기설정된 회전 각도 단위로 회전시키는 회전 구동부, 기설정된 레이 다 사양에 따라 회전 각도 단위로 회전 각도 단위로 배열 안테나부를 회전시킬 최대 회전 횟수를 설정하고, 설정된 회전 각도 단위로 최대 회전 횟수에 따라 회전 구동부를 제어하는 안테나 제어부 및 배열 안테나부의 회전 위치별로 배열 안테나부를 통해 기설정된 파형의 송신 신호를 방사하고, 다수의 안테나 각각으로 수신되는 수신 신호에 배열 안테나부의 회전 위치에 따른 복소 가중치를 가중하여 합성하고, 3차원 위치별로 합성된 신호 세기를 표시하여 3차원 영상을 획득하는 신호 처리부를 포함하는 레이다 및 이의 3차원 영상 획득 방법을 제공할 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류
G01S 2013/0245 (2013.01)

(72) 발명자

전세연

경기도 안양시 동안구 관평로 88, 806동 701호(평
촌동, 꿈마을금호아파트)

김정배

강원도 강릉시 성덕로 328-15, 114동 1401호(입암
동, 금호어울림아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2017-0-00678
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신 방송 연구개발 사업계획서
연구과제명	소형 무인기 탑재용 전파영상레이다 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(주)유텔
연구기간	2017.04.01 ~ 2019.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

다수의 안테나가 배열된 배열 안테나부;

상기 다수의 안테나가 배열된 평면에서 미리 지정된 회전 원점을 중심으로 상기 배열 안테나부를 평면에 평행하게 기설정된 회전 각도 단위로 회전시키는 회전 구동부;

기설정된 레이더 사양에 따라 상기 회전 각도 단위와 상기 회전 각도 단위로 상기 배열 안테나부를 회전시킬 최대 회전 횟수를 설정하고, 설정된 상기 회전 각도 단위와 상기 최대 회전 횟수에 따라 상기 회전 구동부를 제어하는 안테나 제어부; 및

상기 배열 안테나부의 회전 위치별로 상기 배열 안테나부를 통해 기설정된 파형의 송신 신호를 방사하고, 상기 다수의 안테나 각각으로 수신되는 수신 신호에 상기 배열 안테나부의 회전 위치에 따른 복소 가중치를 가중하여 합성하고, 3차원 위치별로 합성된 신호 세기를 표시하여 3차원 영상을 획득하는 신호 처리부; 를 포함하는 레이더다.

청구항 2

제1 항에 있어서, 상기 안테나 제어부는

상기 레이더의 중심 주파수의 파장(λ)과 요구되는 빔폭(θ_{3dB}) 및 각도 해상도($\delta \theta_{3dB}$)와 상기 다수의 안테나의 배열에 따른 다수의 채널의 배치 구조를 확인하고,

상기 회전 원점과 회전 원점에서 가장 먼 거리의 채널의 위상 중심 거리인 최대 위상 중심 거리($a_{l,max}$)와 빔폭(θ_{3dB})에 따라 상기 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)를 수학적식

$$\Delta \alpha < \frac{\lambda}{2a_{l,max} \sin(\theta_{3dB}/2)}$$

을 만족하도록 설정하는 레이더다.

청구항 3

제2 항에 있어서, 상기 안테나 제어부는

상기 배열 안테나부의 다수의 채널의 위상 중심이 상기 회전 원점을 중심으로 n차 회전 대칭으로 배치된 경우, 상기 최대 회전 횟수(M)를 수학적식

$$M \geq \frac{2\pi}{\Delta \alpha \cdot n}$$

를 만족하도록 설정하는 레이더다.

청구항 4

제3 항에 있어서, 상기 신호 처리부는

상기 레이더에 지정된 방위각(ϕ) 및 고도각(θ) 범위, 방위각(ϕ) 및 고도각(θ) 범위 내에서 샘플링되는 샘플 개수(N_ϕ , N_θ), 거리 압축에 의해 획득되는 거리 정보 개수(N_r)를 확인하고, $N_\phi \times N_\theta \times N_r$ 개의 3차원 구형 좌표에서의 위치(n_ϕ , n_θ , n_r)별 신호 세기($s(n_\phi, n_\theta, n_r)$)를 수학적식

$$s(n_\theta, n_\phi, n_r) = \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{m=0}^{M-1} s(m, l, n_r) \cdot e^{-j \frac{4\pi}{\lambda} a_l \sin \theta_{n_\theta} (\cos(\alpha_l + \Delta \alpha m) \cos \phi_{n_\phi} + \sin(\alpha_l + \Delta \alpha m) \sin \phi_{n_\phi})}$$

에 따라 획득하는 레이더이다.

청구항 5

제2 항에 있어서, 상기 안테나 제어부는

상기 회전 구동부가 상기 배열 안테나부를 회전시키는 회전 원점의 위치를 조절할 수 있으면, 상기 최대 위상 중심 거리($a_{l, \max}$)가 수학적식

$$a_{l, \max} > 2.2452 \cdot \frac{\lambda}{4\pi \sin(\delta \theta_{3dB})}$$

을 만족하도록 제어하는 레이더이다.

청구항 6

제2 항에 있어서, 상기 배열 안테나부는

상기 다수의 안테나 사이의 간격이 상기 중심 주파수 파장(λ)의 1/2를 초과하는 레이더이다.

청구항 7

기 지정된 레이더 사양에 따라 다수의 안테나가 배열된 배열 안테나를 상기 다수의 안테나가 배열된 평면 상의 미리 지정된 회전 원점을 중심으로 회전시킬 회전 각도 단위와 상기 회전 각도 단위로 상기 배열 안테나를 회전시킬 최대 회전 횟수를 설정하는 단계;

설정된 회전 각도 단위로 상기 배열 안테나를 다수의 안테나가 배열된 평면에 평행하게 회전시키는 단계;

상기 배열 안테나의 회전 위치별로 송신 방사하고, 상기 다수의 안테나 각각으로 수신되는 수신 신호를 획득하는 단계;

상기 수신 신호에 상기 배열 안테나의 회전 위치에 따른 복소 가중치를 가중하여 합성하는 단계; 및

3차원 위치별로 합성된 신호 세기를 표시하여 3차원 영상을 획득하는 단계; 를 포함하는 레이더의 3차원 영상 획득 방법.

청구항 8

제7 항에 있어서, 상기 회전 횟수를 설정하는 단계는

상기 레이더의 중심 주파수의 파장(λ)과 요구되는 빔폭(θ_{3dB}) 및 각도 해상도($\delta \theta_{3dB}$)와 상기 다수의 안테나의 배열에 따른 다수의 채널의 배치 구조를 확인하는 단계; 및

상기 회전 원점과 회전 원점에서 가장 먼 거리의 채널의 위상 중심 거리인 최대 위상 중심 거리($a_{l, \max}$)와 빔폭(θ_{3dB})에 따라 상기 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)를 수학적식

$$\Delta \alpha < \frac{\lambda}{2a_{l, \max} \sin(\theta_{3dB}/2)}$$

을 만족하도록 설정하는 단계; 를 포함하는 레이더의 3차원 영상 획득 방법.

청구항 9

제8 항에 있어서, 상기 회전 횟수를 설정하는 단계는

상기 배열 안테나의 다수의 채널의 위상 중심이 상기 회전 원점을 중심으로 n차 회전 대칭으로 배치된 경우, 상기 최대 회전 횟수(M)를 수학적

$$M \geq \frac{2\pi}{\Delta\alpha \cdot n}$$

를 만족하도록 설정하는 단계; 를 더 포함하는 레이더의 3차원 영상 획득 방법.

청구항 10

제9 항에 있어서, 상기 합성하는 단계는

상기 레이더에 지정된 방위각(ϕ) 및 고도각(θ) 범위, 방위각(ϕ) 및 고도각(θ) 범위 내에서 샘플링되는 샘플 개수(N_ϕ , N_θ), 거리 압축에 의해 획득되는 거리 정보 개수(N_r)를 확인하는 단계;

$N_\phi \times N_\theta \times N_r$ 개의 3차원 구형 좌표에서의 위치(n_ϕ , n_θ , n_r)별 신호 세기($s(n_\phi, n_\theta, n_r)$)를 수학적

$$s(n_\theta, n_\phi, n_r) = \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{m=0}^{M-1} s(m, l, n_r) \cdot e^{-j \frac{4\pi}{\lambda} a_l \sin\theta_{n_\theta} (\cos(\alpha_l + \Delta\alpha m) \cos\phi_{n_\phi} + \sin(\alpha_l + \Delta\alpha m) \sin\phi_{n_\phi})}$$

에 따라 획득하는 단계; 를 포함하는 레이더의 3차원 영상 획득 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 레이더 및 이의 3차원 영상 획득 방법에 관한 것으로, 배열 안테나의 회전을 이용한 레이더 및 이의 3차원 영상 획득 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 디지털 빔포밍 기술은 레이더 채널에서 수신된 신호를 사용하여 실제 안테나 빔보다 고해상도의 빔으로 합성하고, 원하는 지향 방향으로 조향할 수 있도록 하는 기술이다.

[0003] 디지털 빔 포밍에서 빔의 합성은 각 채널에 복소 가중치(complex weight)를 곱한 후 신호를 더하여 수행하며, 빔의 조향은 각 채널의 복소 가중치를 변경하여 수행하게 된다. 여기서 주어진 빔 조향 방향에 따른 복소 가중치는 각 채널의 안테나 위치와 중심 주파수의 파장에 의해 결정된다.

[0004] 이 때, 각 채널의 안테나 위치 사이의 간격이 중심 주파수 파장의 절반보다 크면, 표적이 실제로 위치하지 않는 각도에 신호가 크게 합성되어 나타나는 각도 모호성이 발생하게 된다. 즉 표적의 위치를 오인하게 된다. 따라서, 디지털 빔포밍 기술을 활용하기 위해서는 안테나 사이의 간격을 좁혀야 하며, 이를 위해서 안테나를 작게 설계해야 한다.

[0005] 그러나 안테나 사이의 간격을 좁히면 안테나의 이득이 줄어드는 효과가 있어 레이더 탐지거리가 줄어들게 된다. 또한, 밀리미터파 대역과 같이 초고주파수 신호의 파장은 매우 작기 때문에 안테나 사이의 간격을 파장의 절반보다 작게 회로나 하드웨어를 설계할 수 없는 경우가 있다. 즉 각도 모호성을 제거할 수 없는 상황이 발생하게 되는 한계가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국 공개 특허 제10-2017-0047773 호 (2017.05.08 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 다수의 안테나가 중심 주파수 파장의 1/2 이상 간격으로 배치되어도 배열 안테나의 회전을 이용하여 각도 모호성을 해소 할 수 있는 레이더 및 이의 3차원 영상 획득 방법을 제공하는데 있다.

[0008] 본 발명의 다른 목적은 요구되는 각도 해상도를 갖도록 레이더의 배열 안테나를 다수의 안테나가 배열된 평면에서 미리 지정된 회전 원점을 중심으로 평면에 평행하게 회전시켜 3차원 영상을 획득할 수 있는 레이더 및 이의 3차원 영상 획득 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 레이더는 다수의 안테나가 배열된 배열 안테나부; 상기 다수의 안테나가 배열된 평면에서 미리 지정된 회전 원점을 중심으로 상기 배열 안테나부를 평면에 평행하게 기 설정된 회전 각도 단위로 회전시키는 회전 구동부; 기 지정된 레이더 사양에 따라 상기 회전 각도 단위로 상기 회전 각도 단위로 상기 배열 안테나부를 회전시킬 최대 회전 횟수를 설정하고, 설정된 상기 회전 각도 단위로 상기 최대 회전 횟수에 따라 상기 회전 구동부를 제어하는 안테나 제어부; 및 상기 배열 안테나부의 회전 위치별로 상기 배열 안테나부를 통해 기 지정된 파형의 송신 신호를 방사하고, 상기 다수의 안테나 각각으로 수신되는 수신 신호에 상기 배열 안테나부의 회전 위치에 따른 복소 가중치를 가중하여 합성하고, 3차원 위치별로 합성된 신호 세기를 표시하여 3차원 영상을 획득하는 신호 처리부; 를 포함한다.

[0010] 상기 안테나 제어부는 상기 레이더의 중심 주파수의 파장(λ)과 요구되는 빔폭(θ_{3dB}) 및 각도 해상도($\delta\theta_{3dB}$)와 상기 다수의 안테나의 배열에 따른 다수의 채널의 배치 구조를 확인하고, 상기 회전 원점과 회전 원점에서 가장 먼 거리의 채널의 위상 중심 거리인 최대 위상 중심 거리($a_{l,max}$)와 빔폭(θ_{3dB})에 따라 상기 회전 각도

$$\Delta\alpha < \frac{\lambda}{2a_{l,max} \sin(\theta_{3dB}/2)}$$

단위($\Delta\alpha$)를 수학식 을 만족하도록 설정할 수 있다.

[0011] 상기 안테나 제어부는 상기 배열 안테나부의 다수의 채널의 위상 중심이 상기 회전 원점을 중심으로 n차 회전

$$M \geq \frac{2\pi}{\Delta\alpha \cdot n}$$

대칭으로 배치된 경우, 상기 최대 회전 횟수(M)를 수학식 를 만족하도록 설정할 수 있다.

[0012] 상기 신호 처리부는 상기 레이더에 지정된 방위각(ϕ) 및 고도각(θ) 범위, 방위각(ϕ) 및 고도각(θ) 범위 내에서 샘플링되는 샘플 개수(N_ϕ, N_θ), 거리 압축에 의해 획득되는 거리 정보 개수(N_r)를 확인하고, $N_\phi \times N_\theta \times N_r$ 개의 3차원 구형 좌표에서의 위치(n_ϕ, n_θ, n_r)별 신호 세기($s(n_\phi, n_\theta, n_r)$)를 수학식

$$s(n_\theta, n_\phi, n_r) = \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{m=0}^{M-1} s(m, l, n_r) \cdot e^{-j \frac{4\pi}{\lambda} a_l \sin\theta_{n_\theta} (\cos(\alpha_l + \Delta\alpha m) \cos\phi_{n_\phi} + \sin(\alpha_l + \Delta\alpha m) \sin\phi_{n_\phi})}$$

에 따라 획득할 수 있다.

[0013] 상기 안테나 제어부는 상기 회전 구동부가 상기 배열 안테나부를 회전시키는 회전 원점의 위치를 조절할 수 있

$$a_{l,max} > 2.2452 \cdot \frac{\lambda}{4\pi \sin(\delta\theta_{3dB})}$$

으면, 상기 최대 위상 중심 거리($a_{l,max}$)가 수학식 을 만

족하도록 제어할 수 있다.

[0014] 상기 배열 안테나부는 상기 다수의 안테나 사이의 간격이 상기 중심 주파수 파장(λ)의 1/2를 초과할 수 있다.

[0015] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 레이더의 3차원 영상 획득 방법은 기지정된 레이더 사양에 따라 다수의 안테나가 배열된 배열 안테나를 상기 다수의 안테나가 배열된 평면 상의 미리 지정된 회전 원점을 중심으로 회전시킬 회전 각도 단위와 상기 회전 각도 단위로 상기 배열 안테나를 회전시킬 최대 회전 횟수를 설정하는 단계; 설정된 회전 각도 단위로 상기 배열 안테나를 다수의 안테나가 배열된 평면에 평행하게 회전시키는 단계; 상기 배열 안테나의 회전 위치별로 송신 방사하고, 상기 다수의 안테나 각각으로 수신되는 수신 신호를 획득하는 단계; 상기 수신 신호에 상기 배열 안테나의 회전 위치에 따른 복소 가중치를 가중하여 합성하는 단계; 및 3차원 위치별로 합성된 신호 세기를 표시하여 3차원 영상을 획득하는 단계; 를 포함한다.

발명의 효과

[0016] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 레이더 및 이의 3차원 영상 획득 방법은 레이더의 배열 안테나가 요구되는 각도 해상도를 갖도록 다수의 안테나가 배열된 평면에서 미리 지정된 회전 원점을 중심으로 평면에 평행하게 회전시켜 배열 안테나의 다수의 안테나가 중심 주파수 파장의 1/2 이상 간격으로 배치되어도 각도 모호성을 해소할 수 있다. 또한 배열 안테나를 회전시키면서 여러 조향 방향에서 수신한 수신 신호를 이용하여 표적에 대한 3차원 영상을 획득할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이더의 개략적 구성을 나타낸다.

도 2는 배열 안테나의 위상 중심과 빔 포밍을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 단일 표적에 대해 기존의 레이더와 본 실시예에 따른 레이더에서 획득된 3차원 영상을 비교한 도면이다.

도 4는 다수의 표적에 대해 본 실시예에 따른 레이더에서 획득된 3차원 영상을 나타낸다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 레이더의 3차원 영상 획득 방법을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.

[0019] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.

[0020] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이더의 개략적 구성을 나타내고, 도 2는 배열 안테나의 위상 중심과 빔 포밍을 설명하기 위한 도면이다.

[0022] 도 1을 참조하면, 본 실시예에 따른 레이더는 배열 안테나부(110), 회전 구동부(120), 안테나 제어부(130) 및 신호 처리부(140)를 포함한다.

[0023] 배열 안테나부(110)는 동일 평면상에 기지정된 위치에 배열되어 신호를 송신 및 수신하는 기능을 수행하는 다수의 안테나를 포함한다. 본 실시예에서 다수의 안테나는 xy 평면 상에 배치되고, 다수의 안테나 각각은 xy 평면에 수직인 z축 방향으로 조향된 것으로 가정한다. 여기서 배열 안테나부(110)에 구비되는 안테나의 개수 및 배치 형태는 다양하게 조절될 수 있으며, 다수의 안테나에서 서로 인접한 안테나 사이의 간격은 레이더에서 운용하는 신호의 중심 주파수 파장(λ)의 1/2 이상일 수 있다. 그리고 배열 안테나부(110)의 다수의 안테나 각각은 신호를 송신 및 수신하는 송수신 안테나일 수 있으나, 일부는 송신 안테나로 기능하고, 나머지는 수신 안테

나로 기능하도록 구성될 수 있다.

- [0024] 본 실시예에 따른 레이더는 펄스간 가간섭성(coherency between pulses)이 유지되는 단일 채널 레이더 또는 다중 채널 레이더로 이용될 수 있으며, 다중 채널 레이더로 이용되는 경우 채널간 위상차가 없거나 위상차를 측정하여 보정할 수 있다.
- [0025] 레이더가 다중 채널을 이용하고 배열 안테나부(110)에서 송신을 수행하는 안테나와 수신을 수행하는 안테나가 동일하면, 각각의 채널(c_i)에 대응하는 안테나의 위상 중심(phase center)이 각 채널의 위상 중심이 된다. 일 예로 다수의 안테나 각각이 송신 및 수신을 수행하는 개별 채널(c_i)로 동작하는 경우, 다수의 안테나 각각의 위상 중심이 대응하는 각 채널(c_i)의 위상 중심(P_i)이 된다. 그러나 송신 안테나와 수신 안테나가 서로 상이한 경우, 송신 안테나와 수신 안테나의 사이의 중점이 해당 채널(c_i)의 위상 중심(P_i)이 된다.
- [0026] 한편 본 실시예에서는 다수의 안테나가 배치된 배열 안테나부(110)를 xy 평면 상에서 회전시키면서 신호를 송신하고, 표적에 반사된 신호를 수신하여 표적에 대한 3차원 영상을 획득한다. 이때, 배열 안테나부(110)의 회전 중심을 회전 원점(O)이라고 한다. 그리고 도 2에 도시된 바와 같이, 회전 원점(O)의 좌표를 (0, 0)이라 할 때, L개의 채널($c_0 \sim c_{L-1}$) 중 1번째 채널(c_1)의 위상 중심(P_1)의 좌표(d_x, d_y)는 회전 원점(O)으로부터 위상 중심(P_1)까지의 거리(a_1) 및 x축과 1번째 채널(c_1)의 위상 중심(P_1)이 이루는 각도(α_1)의 구좌표계 형식으로 표현될 수 있다.
- [0027] 여기서는 1번째 채널(c_1)의 회전 원점(O)으로부터 위상 중심(P_1)까지의 거리를 1채널(c_1)의 위상 중심 거리(a_1)라 하고, 1번째 채널(c_1)의 위상 중심(P_1)이 x축과 이루는 각도를 1채널(c_1)의 위상 중심 각도(α_1)라 한다.
- [0028] 회전 구동부(120)는 배열 안테나부(110)에 결합되어 안테나 제어부(130)의 제어에 따라 배열 안테나부(110)를 지정된 회전 원점(O)을 중심으로 xy 평면 상에서 회전시킨다. 즉 회전 구동부(120)는 배열 안테나부(110)를 z축을 기준으로 회전시킨다.
- [0029] 본 실시예에서 회전 구동부(120)가 배열 안테나부(110)를 회전시키는 것은 다수의 안테나 사이의 간격이 중심 주파수 파장(λ)의 1/2 이상이어도 각도 모호성을 배제하고 요구되는 이득으로 표적에 대한 3차원 영상을 획득할 수 있도록 하기 위함이다.
- [0030] 안테나 제어부(130)는 표적(p)에 대한 3차원 영상을 획득하기 위해, 배열 안테나부(110)가 레이더의 요구 사항에 따라 신호 처리부(140)에 의해 지정되는 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)로 지정된 횟수(M)만큼 회전되도록 회전 구동부(120)를 제어한다.
- [0031] 안테나 제어부(130)는 레이더에 요구되는 사양에 따라 배열 안테나부(110)를 회전시키는 기준점인 회전 원점(O)의 위치와 배열 안테나부(110)를 회전시킬 회전 각도 단위($\Delta \alpha$) 및 최대 회전 횟수(M)를 결정한다. 그리고 결정된 회전 원점(O)과 회전 각도 단위($\Delta \alpha$) 및 최대 회전 횟수(M)를 안테나 제어부(130)로 전달하여, 배열 안테나부(110)가 회전 원점(O)을 중심으로 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)로 M회까지 회전하도록 회전 구동부(120)를 제어한다.
- [0032] 본 실시예에서 안테나 제어부(130)는 레이더에 요구되는 각도 해상도에 따라 우선 회전 원점(O(0, 0))의 위치를 결정한다. 즉 배열 안테나부(110)와 회전 구동부(120)의 결합 위치를 결정한다. 중심 주파수의 파장(λ)과 함께 요구되는 3dB 빔폭(θ_{3dB})이 미리 결정된 경우 안테나 제어부(130)는 각도 해상도($\delta \theta_{3dB}$)에 기반하여, 회전 원점(O)으로부터 다수의 채널($c_0 \sim c_{L-1}$) 중 가장 먼 거리의 채널(c_i)의 위상 중심 거리($a_{i,max}$)가 수학식 1을 만족하도록 회전 원점(O(0, 0))의 위치를 결정한다.

수학식 1

$$a_{i, \max} > 2.2452 \cdot \frac{\lambda}{4\pi \sin(\delta\theta_{3dB})}$$

[0033]

[0034] 디지털 빔 포밍 기법에서 배열 안테나부(110)의 다수의 안테나가 넓게 분포할 수록 빔 폭이 좁아져 더 작은 각

도 해상도를 가질 수 있다. 최대 위상 중심 거리($a_{l,max}$)를 갖는 채널에 대한 각도 해상도를 획득하기 위해, 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)를 0에 무한 수렴하는 값으로 설정하고, 배열 안테나부(110)가 360도 회전하는 것으로 가정하면 최대 회전 횟수(M)를 $M = 2\pi / \Delta \alpha$ 로 계산된다. 이에 신호 처리부(140)에서 획득되는 3차원 영상의 조향 방향에 다른 신호 세기에 대한 크기 분포 함수($s(\phi, \theta)$)는 1종 베셀 함수(Bessel function)($J_0(\cdot)$)에 따라 수학적 2로 획득된다.

수학적 2

$$s(\phi, \theta) = J_0\left(\frac{4\pi}{\lambda} a_{l,max} \sin(\theta)\right)$$

[0035]

[0036] 그리고 1종 베셀 함수($J_0(\cdot)$)에서 $J_0(1.1226) \approx 0.5$ 로 알려져 있으므로, 최대 위상 중심 거리($a_{l,max}$)는 수학적 1에 따라 결정될 수 있다.

[0037] 다만, 회전 원점(0(0,0))의 위치는 배열 안테나부(110)와 회전 구동부(120)의 결합 위치에 따라 결정되며, 일반적으로 배열 안테나부(110)와 회전 구동부(120)의 결합 위치는 변경이 용이하지 않다. 즉 회전 원점(0(0,0))의 위치는 임의로 변경될 수 없는 경우가 대부분이다. 따라서 회전 원점(0(0,0))의 위치는 배열 안테나부(110)와 회전 구동부(120)의 결합 위치에 따라 미리 결정되고, 최대 위상 중심 거리($a_{l,max}$)는 회전 원점(0(0,0))을 기준으로 가장 먼 거리의 채널(c_1)의 위상 중심 거리를 측정하여 획득될 수 있다.

[0038] 안테나 제어부(130)는 최대 위상 중심 거리($a_{l,max}$)가 획득되면, 획득된 최대 위상 중심 거리($a_{l,max}$)와 3dB 빔폭(Θ_{3dB})을 이용하여 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)를 결정한다.

[0039] 구형 좌표계에서 방위각(ϕ_p) 및 고도각(θ_p)에 위치하는 표적(p)은 1번째 채널(c_1)이 회전 각도(α)만큼 회전하였을 때, 수학적 3에 따른 위상을 갖는다.

수학적 3

$$\angle s(l, \alpha; \phi_p, \theta_p) = j \frac{4\pi}{\lambda} a_l \sin(\theta_p) \cos(\alpha_p + \alpha - \phi_p)$$

[0040]

[0041] 수학적 3에서 회전 각도(α)에 대한 신호의 순간 주파수(instantaneous frequency)는 수학적 4에 따라 계산될 수 있다.

수학적 4

$$\begin{aligned} k_\alpha &= \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \angle s}{\partial \alpha} \\ &= \frac{2}{\lambda} a_l \sin(\theta_p) \sin(\alpha_p + \alpha - \phi_p) \end{aligned}$$

[0042]

[0043] 수학적 4은 수학적 5를 만족해야 하며, 이는 배열 안테나부(110)의 회전 각도(α)에 대한 신호의 대역폭이 된다.

수학식 5

$$k_{\alpha} < \frac{2}{\lambda} a_l \sin(\theta_p) < \frac{2}{\lambda} a_{l,\max} \sin(\theta_{3dB}/2)$$

[0044]

[0045] 나이퀴스트-새넨 샘플링 이론(Nyquist-Shannon sampling theorem)에 따라 신호를 완전히 복원할 수 있는 회전 각도(α)의 샘플링 간격인 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)는 수학식 6을 만족해야 한다.

수학식 6

$$k_{\alpha,\max} < \frac{1}{\Delta \alpha}$$

[0046]

[0047] 수학식 5과 수학식 6를 결합하면, 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)는 수학식 7을 만족하도록 결정되어야 함을 알 수 있다.

수학식 7

$$\Delta \alpha < \frac{\lambda}{2a_{l,\max} \sin(\theta_{3dB}/2)}$$

[0048]

[0049] 즉 안테나 제어부(130)는 수학식 7을 만족하도록 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)를 결정할 수 있다.

[0050] 한편, 안테나 제어부(130)는 수학식 7에 따라 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)가 결정되면, 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)와 배열 안테나부(110)의 다수의 채널($c_1 \sim c_{L-1}$)의 배치 구조에 따라 최대 회전 횟수(M)를 결정한다.

[0051] 안테나 제어부(130)는 배열 안테나부(110)의 다수의 채널($c_1 \sim c_{L-1}$)의 위상 중심(P_1)이 회전 원점(O)을 중심으로 n 차 회전 대칭으로 배치된 경우, 수학식 8에 따라 최대 회전 횟수(M)를 결정한다.

수학식 8

$$M \geq \frac{2\pi}{\Delta \alpha \cdot n}$$

[0052]

[0053] 다수의 채널($c_1 \sim c_{L-1}$)이 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)로 n 차 회전하여, 회전하기 이전과 동일한 배치 구조를 갖게 되는 경우, 배열 안테나부(110)를 360도 회전시킬 필요가 없다. 예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이, 다수의 채널($c_1 \sim c_{L-1}$)이 4차($n = 4$) 회전 대칭인 경우, 배열 안테나부(110)는 0 ~ 90° 범위에서만 회전하면 된다. 이는 나머지 90° ~ 360° 회전 범위에서는 동일한 신호가 획득되기 때문이다. 따라서 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)가 일예로 10° 인 경우, 배열 안테나부(110)는 수학식 10에 따라 최대 회전 횟수(M)를 9로 결정할 수 있다.

[0054] 신호 처리부(140)는 기지정된 파형의 송신 신호를 생성하여 배열 안테나부(110)의 다수의 안테나로 전달하여, 다수의 안테나가 송신 신호를 방사하도록 한다. 여기서 송신 신호는 일예로 펄스파일 수 있으나 이에 한정되지 않는다. 그리고 신호 처리부(140)는 표적(p)에서 반사되어 다수의 안테나로 수신된 수신 신호를 인가받아 분석하여 표적에 대한 3차원 영상을 생성한다.

[0055] 신호 처리부(140)는 채널의 개수가 L개일 때, L개의 채널($c_1 \sim c_{L-1}$) 각각의 신호를 거리 압축하여 각 채널로부터 거리에 따라 반사되어 수신된 수신 신호의 에너지 분포를 나타내는 L개의 거리 프로파일(range profile)을

획득할 수 있다.

[0056] 그리고 L개의 거리 프로파일 각각에 대응하는 각 채널(c_l)의 배치 위치(d_x, d_y)에 따라 수학식 9에 따른 복소 가중치(w_c)를 곱하고 합하여, 신호가 원점(0(0, 0))을 중심으로 방위각(ϕ) 및 고도각(θ)으로 지향되도록 조향시킬 수 있다.

수학식 9

[0057]
$$w_c = e^{j\frac{4\pi}{\lambda}(\sin(\theta)d_x + \sin(\phi)d_y)}$$

[0058] 여기서 λ 는 신호의 레이다가 운용하는 신호의 중심 주파수 파장을 나타낸다.

[0059] 즉 수신 신호를 거리 압축하여 획득된 다수의 거리 프로파일에 원점(0(0, 0))을 기준으로 다수의 채널 각각의 x축 방향 거리(d_x) 및 y축 방향 거리(d_y)와 조향 방향(ϕ, θ)에 따른 복소 가중치(w_c)를 곱한 후 모두 더하여 합성함으로써, 조향 방향(ϕ, θ)으로 빔 포밍이 되도록 한다.

[0060] 빔 포밍에 의해 조향된 방향(ϕ, θ)에 표적이 존재하면, 합성된 신호는 세기가 상대적으로 커지는 반면, 조향된 방향(ϕ, θ)에 표적이 존재하지 않으면, 합성된 신호의 세기가 상대적으로 작아지게 된다.

[0061] 다만 본 실시예에 따른 레이다에서는 배열 안테나부(110)가 회전 구동부(120)에 의해 z축을 기준으로 xy 평면 상에서 회전할 수 있다. 특히 회전 각도 단위($\Delta\alpha$)로 지정된 횟수(M)만큼 배열 안테나부(110)를 회전시키면서 빔 포밍을 수행하게 된다. 따라서 신호 처리부(140)는 배열 안테나부(110)가 회전하는 모든 회전 각도에서 빔 포밍이 되도록 수학식 9의 복소 가중치(w_c)를 수학식 10과 같이 구형 좌표계 형식으로 변형하여 획득할 수 있다.

수학식 10

[0062]
$$w_c = e^{-j\frac{4\pi}{\lambda}a_l\sin\theta(\cos(\alpha_l + \Delta\alpha m)\cos\phi + \sin(\alpha_l + \Delta\alpha m)\sin\phi)}$$

[0063] (여기서 m은 회전 각도 단위($\Delta\alpha$)로 회전하는 배열 안테나부(110)의 회전 횟수를 나타낸다.)

[0064] 신호 처리부(140)는 배열 안테나부(110)가 M회 회전하는 동안 L개의 채널($c_1 \sim c_{L-1}$) 각각을 통해 수신된 신호들을 거리 압축(range compression)하여 N_r 개의 거리 정보 위치(range bin)별로 크기 및 위상을 갖는 복소수 형태의 디지털 데이터를 거리 프로파일(range profile)로 획득한다. 즉 신호 처리부(140)는 $M \times L$ 개의 거리 프로파일($s(m, l, n_r)$)을 획득한다.

[0065] 그리고 신호 처리부(140)는 획득된 $M \times L$ 개의 거리 프로파일($s(m, l, n_r)$) 각각에 대해 수학식 10의 복소 가중치(w_c)를 곱하고, 합하여 디지털 빔 포밍을 수행한다.

[0066] 레이다는 기지정된 범위의 방위각(ϕ) 및 고도각(θ)의 표적을 탐색할 수 있어야 하며, 여기서는 일예로 레이다의 방위각(ϕ)은 $0 \sim 360^\circ$ 범위로 조절되고, 고도각(θ)은 시야각(Field of View)(θ_{FOV}) 범위($-\theta_{FOV}/2 \sim \theta_{FOV}/2$)에서 조절되도록 요구되는 것으로 가정한다. 지정된 범위에서 샘플링되는 방위각(ϕ)과 고도각(θ)의 개수가 각각 N_ϕ 및 N_θ 이면, 레이다는 거리 정보 위치의 개수와 함께 $N_\phi \times N_\theta \times N_r$ 개의 3차원 구형 좌표에서의 위치(n_ϕ, n_θ, n_r)별 신호 세기를 수학식 11에 따라 획득할 수 있다.

수학식 11

$$s(n_\theta, n_\phi, n_r) = \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{m=0}^{M-1} s(m, l, n_r) \cdot e^{-j \frac{4\pi}{\lambda} a_i \sin \theta_{n_\theta} (\cos(\alpha_i + \Delta \alpha m) \cos \phi_{n_\phi} + \sin(\alpha_i + \Delta \alpha m) \sin \phi_{n_\phi})}$$

[0067]

[0068]

상기한 바와 같이, 빔 포밍에 의해 조향된 방향(ϕ , θ)에 표적이 존재하면, 합성된 신호는 상대적으로 큰 세기로 나타나는 반면, 조향된 방향(ϕ , θ)에 표적이 존재하지 않으면, 합성된 신호의 세기가 상대적으로 작게 나타나므로, 신호 처리부(140)는 수학식 11에 따라 획득된 위치(n_ϕ , n_θ , n_r)별 신호 세기를 시각적으로 표시함으로써 표적에 대한 3차원 영상을 획득할 수 있다.

[0069]

도 3은 단일 표적에 대해 기존의 레이더와 본 실시예에 따른 레이더에서 획득된 3차원 영상을 비교한 도면이고, 도 4는 다수의 표적에 대해 본 실시예에 따른 레이더에서 획득된 3차원 영상을 나타낸다.

[0070]

도 3에서 (a)를 참조하면, 배열 안테나부(110)를 회전하지 않는 기존의 레이더에서 안테나 사이의 간격이 중심 주파수 파장의 $1/2(\lambda/2)$ 이상의 간격으로 배치되어 단일 표적이 다수의 서로 다른 위치에서 검출되는 각도 모호성이 나타났다. 그에 반해 (b)에 도시된 본 실시예에 따른 레이더는 배열 안테나부(110)를 회전시키면서 디지털 빔 포밍을 수행하여 각도 모호성을 제거함으로써, 단일 표적의 3차원 위치를 정확하게 검출할 수 있다.

[0071]

도 4는 레이더가 5개의 표적에 대해 3차원 위치를 검출한 경우의 3차원 영상을 나타낸다. 도 4에 도시된 바와 같이, 본 실시예에 따른 레이더는 단일 표적뿐만 아니라 다수의 표적에 대한 3차원 위치를 정확하게 검출하여 3차원 영상을 생성할 수 있다.

[0072]

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 레이더의 3차원 영상 획득 방법을 나타낸다.

[0073]

도 1 내지 도 4를 참조하여, 도 5의 레이더의 3차원 영상 획득 방법을 설명하면, 우선 레이더의 사양을 확인한다(S11). 여기서 레이더 사양에는 중심 주파수의 파장(λ)과 방위각(ϕ) 및 고도각(θ) 범위, 방위각(ϕ) 및 고도각(θ) 범위 내에서 샘플링되는 샘플 개수(N_ϕ , N_θ), 거리 압축에 의해 획득되는 거리 정보 개수(N_r)를 확인한다. 또한 빔폭(θ_{3dB}) 및 각도 해상도($\delta \theta_{3dB}$)가 포함될 수 있다. 특히 다수의 안테나를 포함하는 배열 안테나부(110)에서 다수의 채널($c_1 \sim c_{L-1}$)의 배치 구조를 확인한다.

[0074]

레이더의 사양이 확인되면, 배열 안테나부(110)를 회전시키는 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)를 설정한다. 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)는 회전되는 배열 안테나부(110)의 회전 원점($0(0, 0)$)과 회전 원점에서 가장 먼 거리의 채널(c_1)의 위상 중심 거리인 최대 위상 중심 거리($a_{1,max}$)와 3dB 빔폭(θ_{3dB})을 이용하여 수학식 7을 만족하도록 설정된다.

[0075]

이때, 단일 배열 안테나부(110)의 회전 원점($0(0, 0)$)의 위치가 조절가능하다면, 회전 원점($0(0, 0)$)은 최대 위상 중심 거리($a_{1,max}$)가 수학식 1을 만족할 수 있도록 미리 설정될 수 있다.

[0076]

한편, 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)가 설정되면, 다수의 채널($c_1 \sim c_{L-1}$)의 배치 구조에 따라 최대 회전 횟수(M)를 수학식 8에 따라 결정한다.

[0077]

그리고 레이더는 배열 안테나부(110)의 초기 위치로부터 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)로 M회까지 회전하면서 송신 신호를 송신하고, 반사 신호를 수신하여 신호의 세기와 위상을 측정한다. 레이더는 우선 기지정된 초기 위치에서 송신 신호를 송신하고, 반사된 수신 신호를 수신하여 거리 프로파일을 획득한다(S14). 이때 각 회전 각도에서 다수개(L)의 채널($c_1 \sim c_{L-1}$) 각각을 통해 수신된 수신 신호들을 거리 압축하여 N_r 개의 거리 정보 위치(range bin)별로 크기 및 위상을 갖는 복소수 형태의 디지털 데이터를 거리 프로파일로 획득할 수 있다. 즉 배열 안테나부(110)의 회전 위치별로 $M \times L$ 개의 거리 프로파일($s(m, l, n_r)$)을 획득한다.

[0078]

그리고 현재 배열 안테나부(110)의 회전 횟수(m)가 설정된 최대 회전 횟수(M) 이상인지 판별한다(S15). 만약 현재 회전 횟수(m)가 최대 회전 횟수(M) 미만이면, 배열 안테나부(110)를 회전 각도 단위($\Delta \alpha$)만큼 회전시킨다(S16). 그리고 배열 안테나가 회전된 위치에서 다시 송신 신호를 송신하고, 반사 신호를 수신하여 거리 프로파

일을 획득한다(S14). 그러나 현재 회전 횟수(m)가 최대 회전 횟수(M) 이상이면, 획득된 $M \times L$ 개의 거리 프로파일(s(m, l, n_r))에 대해 수학식 11과 같이 수학식 10의 복소 가중치(wc)를 곱하고, 합하여 디지털 빔 포밍을 수행하여 3차원 위치별 신호 세기를 나타내는 복소수 형태의 데이터를 획득한다(S17). 그리고 수학식 11에 따라 획득된 위치(n_φ, n_θ, n_r)별 신호 세기를 시각적으로 표시함으로써 표적에 대한 3차원 영상을 획득한다(S18)

[0079] 레이더의 배열 안테나가 요구되는 각도 해상도를 갖도록 위상 중심을 축으로 회전시켜 배열 안테나의 다수의 안테나가 중심 주파수 파장의 1/2 이상 간격으로 배치되어도 각도 모호성을 해소 할 수 있다. 또한 배열 안테나를 회전시키면서 여러 조향 방향에서 수신한 수신 신호를 이용하여 표적에 대한 3차원 영상을 획득할 수 있다.

[0080] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행 시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스 될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 또한 컴퓨터 저장 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함하며, ROM(판독 전용 메모리), RAM(랜덤 액세스 메모리), CD(컴팩트 디스크)-ROM, DVD(디지털 비디오 디스크)-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등을 포함할 수 있다.

[0081] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.

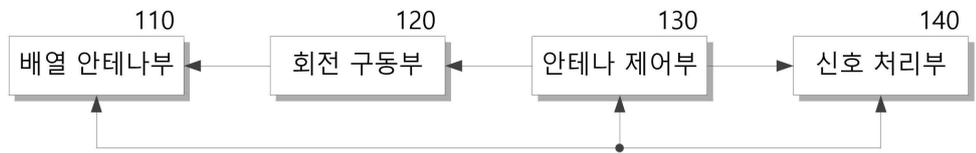
[0082] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

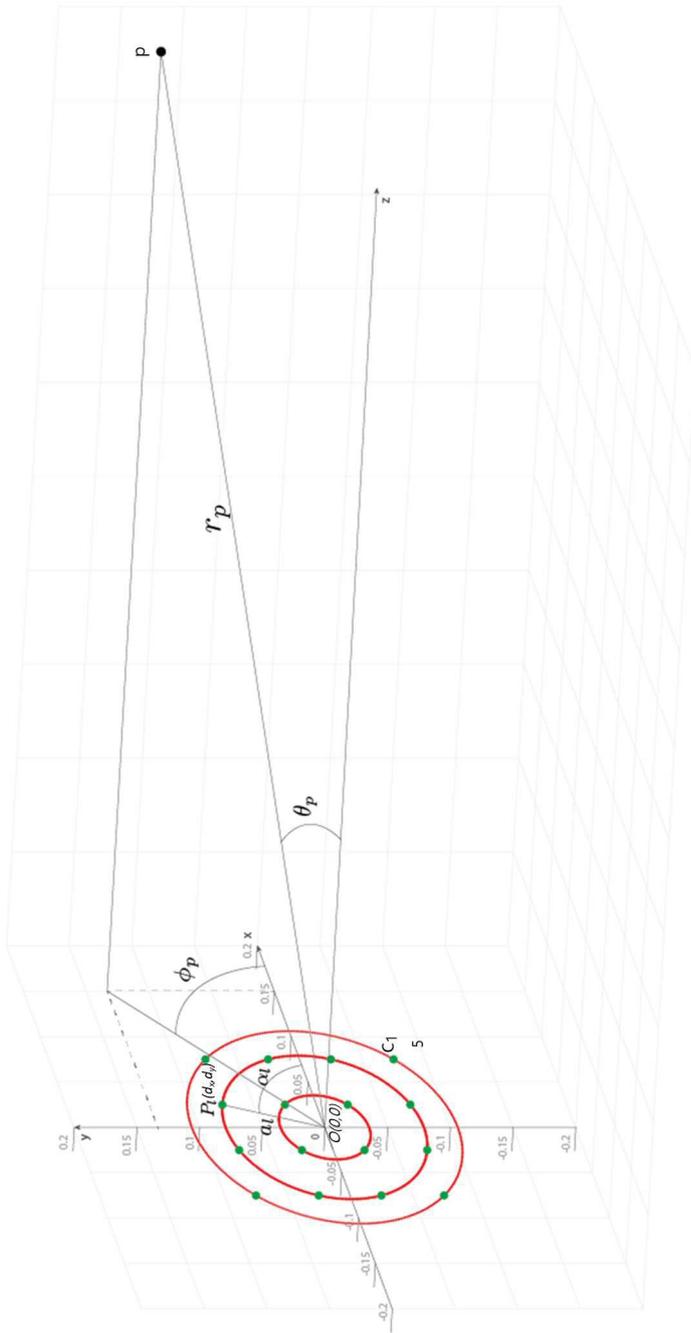
- [0083] 110: 배열 안테나부 120: 회전 구동부
- 130: 안테나 제어부 140: 신호 처리부

도면

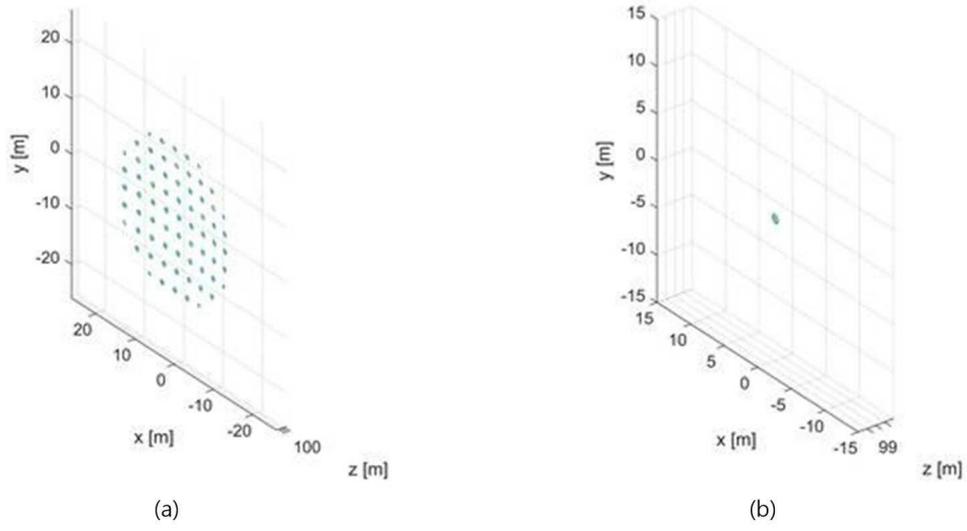
도면1



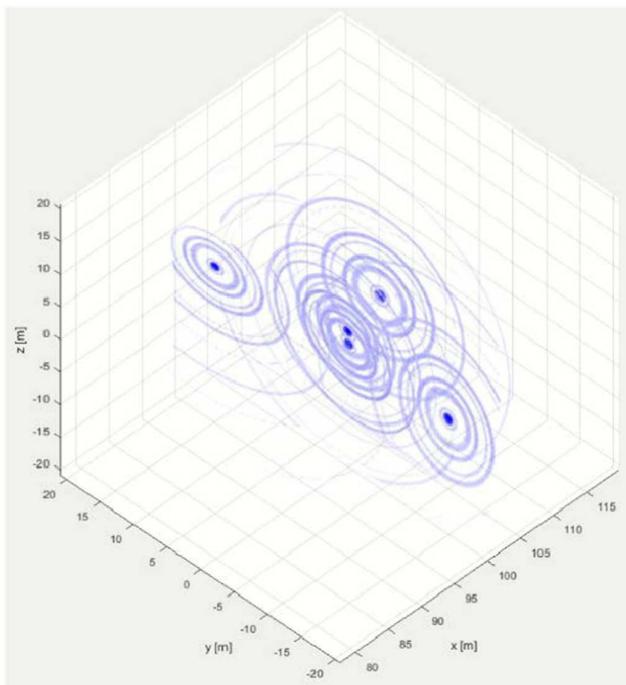
도면2



도면3



도면4



도면5

