



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0126979
(43) 공개일자 2010년12월03일

(51) Int. Cl.

G01S 13/90 (2006.01) G01S 13/89 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0045435

(22) 출원일자 2009년05월25일

심사청구일자 2009년05월25일

(71) 출원인

한국지질자원연구원

대전 유성구 가정동 30번지

인하대학교 산학협력단

인천 남구 용현동 253 인하대학교

강원대학교산학협력단

강원 춘천시 효자동 192-1 강원대학로 42

(72) 발명자

이훈열

강원도 춘천시 퇴계동 퇴계뜨란채아파트 1011 동 503 호

조성준

대전 유성구 전민동 엑스포아파트 107동 1405호

김광은

대전광역시 유성구 전민동 엑스포아파트 406 동 601호

(74) 대리인

정상규

전체 청구항 수 : 총 6 항

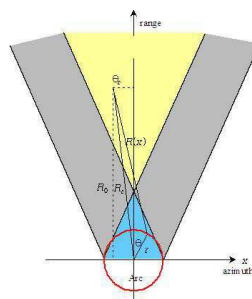
(54) 아크합성구경 레이더 시스템의 극좌표 영상화 방법

(57) 요약

본 발명의 아크 합성구경 레이더 시스템의 영상화 방법은, (a) 원형의 레일 위를 마이크로파 안테나가 이동하며 스팟모드(spot mode)로 타겟으로 마이크로파를 송신하고 상기 타겟으로부터 반사된 마이크로파를 수신하여 수신 신호를 획득하는 단계; (b) 극좌표로 적용된 상기 수신신호를 레인지(range) 방향으로 해밍 필터(hamming filter)를 거친 후 역푸리에 변환을 하여 레인지 방향으로 압축하는 레인지 압축(range compression) 연산을 수행하는 단계; (c) 목표점에 대한 거리 함수를 이용하여 레인지 방향으로 정렬하는 레인지 이동(range migration) 연산을 수행하는 단계; (d) 상기 수신신호에 더램프 함수(Deramp Function)를 곱하여 애저머스(azimuth) 방향으로의 해밍 필터를 거친 후 푸리에 변환을 하는 연산을 수행하는 단계; (e) 영상화 결과를 기하보정(geocoding)하는 단계;를 포함하여 이루어지고,

본 발명의 또 다른 아크 합성구경 레이더 시스템의 영상화 방법은, (a) 원형의 레일 위를 마이크로파 안테나가 이동하며 스캔모드(scan mode)로 타겟으로 마이크로파를 송신하고 상기 타겟으로부터 반사된 마이크로파를 수신하여 수신신호를 획득하는 단계; (b) 극좌표로 적용된 상기 수신신호를 레인지(range) 방향으로 해밍 필터(hamming filter)를 거친 후 역푸리에 변환을 하여 레인지 방향으로 압축하는 레인지 압축(range compression) 연산을 수행하는 단계; (c) 애저머스(azimuth) 푸리에 변환을 거친 후 목표점에 대한 거리 함수를 이용하여 레인지 방향으로 정렬하는 레인지 이동(range migration) 연산을 수행하는 단계; (e) 애저머스 매치 필터(azimuth matched filter)를 거치고 애저머스 방향으로 해밍 필터를 적용한 후 역푸리에 변환을 하는 연산을 수행하는 단계; (f) 영상화 결과를 기하보정(geocoding)하는 단계;를 포함하여 이루어진다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NP2007-056

부처명 국토해양부

연구관리전문기관

연구사업명 건설교통기술연구개발사업

연구과제명 차량을 이용한 국토모니터링 시스템 개발

기여율

주관기관 한국지질자원연구원

연구기간 2007년 09월 11일 ~ 2011년 06월 26일

특허청구의 범위

청구항 1

- (a) 원형의 레일 위를 마이크로파 안테나가 이동하며 스팟모드(spot mode)로 타겟으로 마이크로파를 송신하고 상기 타겟으로부터 반사된 마이크로파를 수신하여 수신신호를 획득하는 단계;
- (b) 극좌표로 적용된 상기 수신신호를 레인지(range) 방향으로 해밍 필터(hamming filter)를 거친 후 역푸리에 변환을 하여 레인지 방향으로 압축하는 레인지 압축(range compression) 연산을 수행하는 단계;
- (c) 목표점에 대한 거리 함수를 이용하여 레인지 방향으로 정렬하는 레인지 이동(range migration) 연산을 수행하는 단계;
- (d) 상기 수신신호에 더램프 함수(Deramp Function)를 곱하여 애저머스(azimuth) 방향으로의 해밍 필터를 거쳐 푸리에 변환을 하는 연산을 수행하는 단계;
- (e) 영상화 결과 기하보정(geocoding)하는 단계;
- 를 포함하여 이루어지는 아크합성구경 레이더 시스템의 영상화 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 (b) 단계에서, 극좌표로 적용된 수신신호는 하기 수학식으로 표현되는 것을 특징으로 하는 아크 합성구경 레이더 시스템의 영상화 방법.

[수학식]

$$s(\theta|R_c, \theta_c) = e^{-j\frac{4\pi}{\lambda} R(\theta|R_c, \theta_c)}, \quad |\theta - \theta_c| < \theta_r$$

(상기 수학식에서, R은 range, θ 는 안테나의 각도, θ_c 와 R_c 는 타겟에 대한 안테나 각도와

Range($R_c = \sqrt{R_0^2 + x_c^2}$)이며, θ_L 는 자료가 얻어진 아크의 각도 영역이고, λ 는 파장이다.)

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 (d) 단계에서, 하기의 수학식 A를 이용하여 영상화가 이루어지며, 수학식 A를 적분구간 $[C-L_s/2, C+L_s/2]$ (C는 레일에서 타겟을 비추는 안테나의 중심위치, L_s 는 안테나의 해당 레일 구간의 폭인 아크의 길이)으

로 계산한 결과 하기 수학식 B로 나타나고, 이때 $x_c = \frac{\lambda R_c}{2\pi} u$ 에서 영상화가 이루어지며 해상도는

$\delta x_c = \frac{\lambda R_c}{2}$, $\delta u = \frac{\lambda R_c}{2L_s}$ 로 나타나는 것을 특징으로 하는 아크 합성구경 레이더 시스템의 영상화 방법.

[수학식 A]

$$g(u) = \int s(\theta) h^{-1}(\theta) e^{-j2\pi u \theta} d\theta$$

(상기 수학식에서, $h^{-1}(\theta) = e^{j\frac{2\pi}{\lambda} R''(\theta)}$, $R''(0)$ 은 $R(\theta)$ 를 $\theta=0$ 을 중심으로 테일러 급수로 전개한 근사치이고, θ 는 안테나의 각도, u 는 wavenumber, λ 는 파장이다.)

[수학식 B]

$$g(u) = e^{-j\frac{4\pi}{\lambda} R_c} e^{-j2\pi \left(u - \frac{2r}{R_c} x_c\right) C} L_s \text{sinc} \left[\pi L_s \left(u - \frac{2r}{\lambda R_c} x_c\right) \right]$$

(상기 수학식에서, R과 x는 Range와 azimuth이며, R_c와 x_c는 타겟에 대한 range($R_c = \sqrt{R_0^2 + x_c^2}$)와 azimuth이며, r은 회전축이 되는 원점에서 안테나까지의 반경, C는 레일에서 타겟을 비추는 안테나의 중심위치, L_s는 안테나의 해당 레일 구간의 폭인 아크의 길이, u는 wavenumber이다.)

청구항 4

- 원형의 레일 위를 마이크로파 안테나가 이동하며 스캔모드(scan mode)로 타겟으로 마이크로파를 송신하고 상기 타겟으로부터 반사된 마이크로파를 수신하여 수신신호를 획득하는 단계;
 - 극좌표로 적용된 상기 수신신호를 레인지(range) 방향으로 해밍 필터(hamming filter)를 거친 후 역푸리에 변환을 하여 레인지 방향으로 압축하는 레인지 압축(range compression) 연산을 수행하는 단계;
 - 에저머스(azimuth) 푸리에 변환을 거친 후 목표점에 대한 거리 함수를 이용하여 레인지 방향으로 정렬하는 레인지 이동(range migration) 연산을 수행하는 단계;
 - 에저머스 매치 필터(azimuth matched filter)를 거치고 에저머스 방향으로 해밍 필터를 적용한 후 역푸리에 변환을 하는 연산을 수행하는 단계;
 - 영상화 결과를 기하보정(geocoding)하는 단계;
- 를 포함하여 이루어지는 아크 합성구경 레이더 시스템의 영상화 방법.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 (b) 단계에서, 극좌표로 적용된 수신신호는 하기 수학식으로 표현되는 것을 특징으로 하는 아크 합성구경 레이더 시스템의 영상화 방법.

[수학식]

$$s(\theta|R_c, \theta_c) = e^{-j\frac{4\pi}{\lambda} R_c \cos \theta} e^{j2\pi [u_{Dc}(\theta - \theta_c) + u_{Rc}(\theta - \theta_c)^2] L}$$

(상기 수학식에서, θ_c 와 R_c는 타겟에 대한 안테나 각도와 range($R_c = \sqrt{R_0^2 + x_c^2}$)이며, u_D 와 u_R 은 wavenumber Doppler parameter이며 R(θ)를 $\theta = \theta_c$ 를 중심으로 테일러 급수로 전개하여 parameter 변환하면

$u_{Dc} = 0$, $u_{Rc} = -\frac{2}{\lambda} \frac{R_c r}{R_c - r}$ 이고, θ_L 는 자료가 얻어진 아크의 각도 영역, L_s는 아크의 길이, λ는 파장이다.)

청구항 6

제 4항에 있어서,

상기 (e) 단계에서, 하기의 수학식 A'를 이용하여 영상화가 이루어지며, 수학식 A'을 적분구간 $[C - L_s/2, C + L_s/2]$ (C는 레일에서 타겟을 비추는 안테나의 중심위치, L_s는 안테나의 해당 레일 구간의 폭인 아크의 길이)으

로 계산한 결과 하기 수식식 B'로 나타나고, 이때 $\theta = \theta_c$ 에서 영상화가 이루어지며 해상도는 $\delta\theta = \frac{\lambda(R_c - r)}{2R_c r L_s}$ 로 나타나는 것을 특징으로 하는 아크 합성구경 레이더 시스템의 영상화 방법.

[수식식 A']

$$g(\theta) = \int h^{-1}(\theta' - \theta) g(\theta') d\theta'$$

(상기 수식식에서, $h^{-1}(\theta) = e^{-j2\pi[u_x\theta + u_y\theta^2/2]}$ $|\theta| < \frac{\lambda R_c}{2L_s}$, 이고, θ 는 안테나의 각도이다.)

[수식식 B']

$$g(\theta) = e^{-j\frac{4\pi}{\lambda}(R_c - r)} e^{j2\pi\left[\frac{2}{\lambda(R_c - r)}(\theta - \theta_c)\left[\frac{\theta + \theta_c}{2} - C\right]\right]} L_s \text{sinc}\left[\frac{2\pi R_c r L_s}{\lambda(R_c - r)}(\theta - \theta_c)\right]$$

(상기 수식식에서, R_c 와 x_c 는 타겟에 대한 $\text{range}(R_c = \sqrt{R_0^2 + x_c^2})$ 와 azimuth이며, r 은 회전축이 되는 원점에서 안테나까지의 반경, C 는 레일에서 타겟을 비추는 안테나의 중심위치, L_s 는 안테나의 해당 레일 구간의 폭인 아크의 길이이다.)

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 직선이 아닌 원형의 궤적을 따라 안테나가 이동하는 아크 합성구경 레이더 시스템에서 영상화를 이루기 위한 새로운 영상화 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 합성 구경 레이더(Synthetic Aperture Radar, 이하 SAR이라 약함) 시스템은 도플러 효과를 이용하여 구현된 것으로, 거리에 관계없이 일정한 방위각 해상도를 유지할 수 있으며, 초고주파를 사용하여 영상을 얻어내기 때문에 가시광의 유무와 날씨, 구름 등에 영향을 받지 않고 소기의 지역에 대한 정보를 얻어낼 수 있다. 특히 도플러 효과를 이용하기 때문에 기존의 SLAR(Side-Looking Aperture Radar) 보다 방위각방향으로 훨씬 더 높은 고해상도를 실현한 시스템이다.

[0003] 이러한 SAR 시스템은 수신된 신호로부터 영상을 재구성할 때, 수신신호에 포함되어 있는 거리방향 신호처리에 연관된 부분에 대한 압축(Range Compression)과 방위각 방향 신호처리에 연관된 부분에 대한 압축(Azimuth Compression)이 이루어진 후, 고주파 측정 왜곡을 보정 하도록 구성된다.

[0004] 기존에 이용되던 GB-SAR (Ground-Based Synthetic Aperture Radar)는 지상에서 안테나의 위치를 제어하여 합성구경(Synthetic Aperture)을 이루어 높은 해상도의 2차원적 영상을 얻는 영상 레이더(imaging radar)로서, SAR의 원리를 이용하는 일종의 레이더 스캐너(radar scanner)라 할 수 있다.

[0005] 레일과 같이 지상에 고착된 플랫폼에서 일측 운동을 통하여 안테나의 움직임을 정밀하게 제어할 수 있기 때문에, 항공기 및 인공위성에 탑재되어 운용되는 일반적인 SAR 시스템과는 달리 반복 정확성이 매우 뛰어난 것이 특징이다. 또한 안테나와 산란체의 기하학적 위치 관계를 정확하게 찾아낼 수 있기 때문에 최적의 SAR 영상화(focusing)를 구현할 수 있으며, 안테나를 동일한 위치에서 반복 측정하여 SAR 간섭 기법에서의 기선의 길이를 영(zero-baseline)으로 유지할 수 있다.

- [0006] GB-SAR는 유지 및 보수가 쉽고 다양한 마이크로파 파장, 편파, 입사각 등을 구현할 수 있어, 항공기 및 인공위성 SAR의 지상 검보정 및 개념 설계용으로 사용될 수 있을 뿐만 아니라 독자적으로도 새로운 응용성을 찾을 수 있는 유망한 기술이다. 다양한 파장과 편파의 마이크로파에 반응하는 산란체의 특성 및 변화를 고해상도로 모니터링하거나, 위상의 변화를 장기간 관측하여 지반 침하량 측정, 사면 안정성 평가, 눈사태 감지와 같은 인공 및 자연 구조물의 안정성을 판단하는 목적으로도 사용될 수 있다.
- [0007] 그런데 레일형 GB-SAR는 반복측정을 통해 mm 이내의 변형까지 감지할 수 있는 높은 해상도를 자랑하나 이를 위해서는 레일을 모니터링 위치에 고정시켜야 하는데 고정밀 레일의 제작비용이 매우 비싸며, 측정 장치의 운반과 설치 역시 매우 복잡한 작업이다.
- [0008] 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 발명의 발명자들은 기존의 레일형 GB-SAR 시스템과 달리 직선 레일이 아닌 차량에 탑재된 원형의 레일을 따라 안테나가 이동하는 새로운 아크 합성구경 레이더 시스템을 개발한 바 있으며, 이 새로운 시스템은 제작단가가 싸고 측정 장치의 신속한 기동이 가능하며 합성구경의 길이를 늘려 영상영역을 확장할 수 있는 장점이 있다.
- [0009] 그런데, 상기 새로운 아크 합성구경 레이더 시스템은 직선이 아닌 원형의 궤적을 따라 안테나가 이동하기 때문에 기존의 통상적인 자료처리의 방법으로는 영상화를 이룰 수 없는 문제가 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- [0010] 전술한 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 직선이 아닌 원형의 궤적을 따라 안테나가 이동하는 새로운 아크 합성구경 레이더 시스템에서의 영상화 방법을 제공하는 목적으로 한다.

과제 해결수단

- [0011] 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 아크합성구경 레이더 시스템의 극좌표 영상화 방법은, (a) 원형의 레일 위를 마이크로파 안테나가 이동하며 스팟모드(spot mode)로 타겟으로 마이크로파를 송신하고 상기 타겟으로부터 반사된 마이크로파를 수신하여 수신신호를 획득하는 단계; (b) 극좌표로 적용된 상기 수신신호를 레인지(range) 방향으로 해밍 필터(hamming filter)를 거친 후 역푸리에 변환을 하여 레인지 방향으로 압축하는 레인지 압축(range compression) 연산을 수행하는 단계; (c) 목표지점에 대한 거리 함수를 이용하여 레인지 방향으로 정렬하는 레인지 이동(range migration) 연산을 수행하는 단계; (d) 상기 수신신호에 더램프 함수(Deramp Function)를 곱하여 애저머스(azimuth) 방향으로의 해밍 필터를 거쳐 푸리에 변환을 하는 연산을 수행하는 단계; (e) 영상화 결과를 기하보정(geocoding)하는 단계;를 포함하여 이루어진다.

- [0012] 이때, 상기 (b) 단계에서, 극좌표로 적용된 수신신호는 하기 수학식으로 표현된다.

- [0013] [수학식]

$$s(R_c, \theta) = e^{-j\frac{4\pi}{\lambda} R(R_c, \theta)}, \quad |\theta - \theta_L| < \theta_r$$

- [0015] (상기 수학식에서, R은 range, θ 는 안테나의 각도, θ_c 와 R_c 는 타겟에 대한 안테나 각도와

Range($R_c = \sqrt{R_0^2 + x_c^2}$)이며, θ_L 는 자료가 얻어진 아크의 각도 영역이고, λ 는 파장이다.)

- [0016] 또한, 상기 (d) 단계에서, 하기의 수학식 A를 이용하여 영상화가 이루어지며, 상기 수학식 A를 적분구간 $[C-L_s/2, C+L_s/2]$ (C는 레일에서 타겟을 비추는 안테나의 중심위치, L_s 는 안테나의 해당 레일 구간의 폭인 아크의 길

이)으로 계산한 결과 하기 수학식 B로 나타나고, 이때 $x_c = \frac{\lambda R_c}{2\pi} u$ 에서 영상화가 이루어지며 해상도는

$$\delta x_c = \frac{\lambda R_c}{2} \delta u = \frac{\lambda R_c}{2L_s} \text{로 나타난다.}$$

[0017] [수학식 A]

$$g(u) = \int s(\theta) h^{-1}(\theta) e^{-j2\pi u \theta} d\theta$$

[0019] (상기 수학식에서, $h^{-1}(\theta) = e^{j\frac{2\pi}{\lambda} R''(\theta) \theta^2}$, $R''(0)$ 은 $R(\theta)$ 를 $\theta=0$ 을 중심으로 테일러 급수로 전개한 근사치이고, θ 는 안테나의 각도, u 는 wavenumber, λ 는 파장이다.)

[0020] [수학식 B]

$$g(u) = e^{-j\frac{4\pi}{\lambda} R_c} e^{-j2\pi \left(u - \frac{2r}{R_c} x_c\right) C} L_s \text{sinc} \left[\pi L_s \left(u - \frac{2r}{\lambda R_c} x_c\right) \right]$$

[0022] (상기 수학식에서, R 과 x 는 Range와 azimuth이며, R_c 와 x_c 는 타겟에 대한 range($R_c = \sqrt{R_0^2 + x_c^2}$)와 azimuth이며, r 은 회전축이 되는 원점에서 안테나까지의 반경, C 는 레일에서 타겟을 비추는 안테나의 중심위치, L_s 는 안테나의 해당 레일 구간의 폭인 아크의 길이, u 는 wavenumber이다.)

[0023] 전술한 목적을 달성하기 위한 또 다른 본 발명의 아크합성구경 레이더 시스템의 극좌표 영상화 방법은, (a) 원형의 레일 위를 마이크로파 안테나가 이동하며 스캔모드(scan mode)로 타겟으로 마이크로파를 송신하고 상기 타겟으로부터 반사된 마이크로파를 수신하여 수신신호를 획득하는 단계; (b) 극좌표로 적용된 상기 수신신호를 레인지(range) 방향으로 해밍 필터(hamming filter)를 거친 후 역푸리에 변환을 하여 레인지 방향으로 압축하는 레인지 압축(range compression) 연산을 수행하는 단계; (c) 애저머스(azimuth) 푸리에 변환을 거친 후 타겟에 대한 거리 함수를 이용하여 레인지 방향으로 정렬하는 레인지 이동(range migration) 연산을 수행하는 단계; (e) 애저머스 매치 필터(azimuth matched filter)를 거치고 애저머스 방향으로 해밍 필터를 적용한 후 역푸리에 변환을 하는 연산을 수행하는 단계; (f) 영상화 결과를 기하보정(geocoding)하는 단계;를 포함하여 이루어진다.

[0024] 이때, 상기 (b) 단계에서, 극좌표로 적용된 수신신호는 하기 수학식으로 표현된다.

[0025] [수학식]

$$s(\theta | R_c, \theta_c) = e^{-j\frac{4\pi}{\lambda} R_c \theta} e^{j2\pi [u_{Dc}(\theta - \theta_c) + u_{Rc}(\theta - \theta_c)^2] L}$$

[0027] (상기 수학식에서, θ_c 와 R_c 는 타겟에 대한 안테나 각도와 range($R_c = \sqrt{R_0^2 + x_c^2}$)이며, u_D 와 u_R 은 wavenumber Doppler parameter이며 $R(\theta)$ 를 $\theta = \theta_c$ 를 중심으로 테일러 급수로 전개하여 parameter 변환하면

$u_{Dc} = 0$, $u_{Rc} = -\frac{2}{\lambda} \frac{R_c r}{R_c - r}$ 이고, θ_L 는 자료가 얻어진 아크의 각도 영역, L_x 는 아크의 길이, λ 는 파장이다.)

[0028] 또한, 상기 (e) 단계에서, 하기의 수학식 A'를 이용하여 영상화가 이루어지며, 상기 수학식 A'을 적분구간 $[-L_s/2, L_s/2]$ (C 는 레일에서 타겟을 비추는 안테나의 중심위치, L_s 는 안테나의 해당 레일 구간의 폭인 아크의 길

이)으로 계산한 결과 하기 수학식 B'로 나타나고, 이때 $\theta = \theta_c$ 에서 영상화가 이루어지며 해상도는

$$\delta\theta = \frac{\lambda(R_c - r)}{2R_c r L_s} \text{로 나타난다.}$$

[0029] [수학식 A']

$$g(\theta) = \int h^{-1}(\theta' - \theta) s(\theta') d\theta'$$

[0030]

[0031] (상기 수학식에서, $h^{-1}(\theta) = e^{-j\pi[u_r\theta + u_c\theta^2/2]} \quad |\theta| < \frac{\lambda R_c}{2L_s}$, 이고, θ 는 안테나의 각도이다.)

[0032] [수학식 B']

$$g(\theta) = e^{-j\frac{4\pi}{\lambda}(R_c - r)} e^{j\pi\left[\frac{2}{\lambda(R_c - r)}(\theta - \theta_d)\left(\frac{\theta + \theta_c}{2} - C\right)\right]L_s} \text{sinc}\left[\frac{2\pi R_c \gamma L_s}{\lambda(R_c - r)}(\theta - \theta_d)\right]$$

[0033]

[0034] (상기 수학식에서, R_c 와 x_c 는 타겟에 대한 range($R_c = \sqrt{R_0^2 + x_c^2}$)와 azimuth이며, r 은 회전축이 되는 원점에서 안테나까지의 반경, C 는 레일에서 타겟을 비추는 안테나의 중심위치, L_s 는 안테나의 해당 레일 구간의 폭인 아크의 길이이다.)

효 과

[0035] 본 발명에 의해 직선이 아닌 원형의 궤적을 따라 안테나가 이동하는 새로운 아크합성구경 레이더 시스템에서의 효율적인 극좌표 영상화 방법을 제공할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0036] 이하, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0037] 본 발명의 발명자들이 개발한 새로운 아크 합성구경 레이더 시스템은 마이크로파 안테나를 원형의 레일 끝에 위치시키고 아크 모양으로 이동 시키면서 마이크로파를 연속적으로 송수신하여 자료를 얻고, 이를 일정한 자료처리를 통하여 영상화를 이룬다. 이러한 아크 합성구경 레이더 시스템은 기존의 합성구경 레이더(Synthetic Aperture Radar)와는 달리 직선이 아닌 원형의 궤적을 따라 안테나가 이동하기 때문에 통상적인 자료처리의 방법으로는 영상화를 이룰 수 없다. 따라서 본 발명에서는 아크 합성구경 레이더 시스템의 새로운 영상화 방법을 개발하였다.

[0038] 아크합성구경 레이더 시스템은 안테나를 붐의 끝에 고정시키고 전방위적으로 연속 영상을 얻는 스캔 모드(Scan Mode)(도 1 참조)와, 안테나를 일정한 방향으로 지향하도록 한 상태에서 원형 궤적을 통해 자료를 얻는 스팟 모드(Spot Mode)(도 2 참조)로 나뉜다.

[0039] (1) Arc-SAR Spot 모드 영상화

[0040] 먼저, 스팟 모드를 위한 극좌표 표현은 다음과 같다. 도 3은 Arc-SAR 영상 기하를 나타내는 것이다. 도 3에서 원은 안테나가 이동하는 원형 레일이며, θ 는 안테나의 각도, r 은 회전축이 되는 원점에서 안테나까지의 반경이며, θ_c 와 R_c 는 타겟인 점산란체에 대한 안테나 각도와 레인지(Range)($R_c = \sqrt{R_0^2 + x_c^2}$)이다. 도 3에서와 같이, 직교좌표에서는 (R_0, x_c) 에 위치한 한 타겟인 점산란체는 극좌표상에서는 (R_c, θ_c) 로 표현된다.

[0041] 이 산란체에서 얻어진 Arc-SAR 원시 자료를 base-banded 후 역푸리에 변환을 하여 레인지 압축(range compression)을 실시하면 다음과 같은 수학식 1의 형태가 된다. 실제 자료 처리에서는 sinc함수의 주요 피크만을 강조하기 위하여 레인지 방향으로 해밍 필터(Hamming filter)를 적용시킨 후, iFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 이용하여, 레인지 압축을 수행한다.

수학식 1

[0042]
$$s(\theta|R_c, \theta_c) = e^{-j\frac{4\pi}{\lambda} R(\theta|R_c, \theta_c)}, \quad |\theta - \theta_c| < \theta_r$$

[0043] 여기서 θ 는 안테나의 각도이며 θ_L 은 스왑 모드에서 자료가 얻어진 아크의 각도 영역이고, λ 는 마이크로파의 파장이다. 원형 레일의 중심에서 안테나까지의 길이가 r 일 때, 안테나에서 목표지점까지의 거리는 다음과 같은 수학적 2로 나타낼 수 있다.

수학적 2

[0044]
$$R(\theta|R_c, \theta_c) = \sqrt{R_c^2 + r^2 - 2R_cr \cos(\theta - \theta_c)}$$

[0045] 위 수학적 2를 $\theta=0$ 을 중심으로 테일러 급수(Taylor series)로 전개하면 다음과 같은 수학적 3이 된다.

수학적 3

[0046]
$$R(\theta) = R(0) + R'(0)\theta + \frac{R''(0)}{2!}\theta^2 + \frac{R'''(0)}{3!}\theta^3 + \dots$$

[0047] 상기 수학적 3을 계산하면 다음과 같은 수학적 4 ~ 수학적 6이 된다.

수학적 4

[0048]
$$R(0) = \sqrt{R_c^2 + r^2 - 2R_cr \cos \theta_c}$$

수학적 5

[0049]
$$R'(0) = -\frac{R_cr \sin \theta_c}{R(0)} = -\frac{rc}{R(0)}$$

수학적 6

[0050]
$$R''(0) = \frac{R_cr \cos \theta_c R(0) + R_cr \sin \theta_c R'(0)}{R^2(0)}$$

[0051] 스왑 모드에서는 기본적으로 푸리에 변환이 이용되는데, 먼저 단일 목표점에 대한 거리의 함수를 이용하여 레인지 방향으로 정렬하는데, 이러한 과정을 레인지 이동(Range Migration)이라고 한다.

[0052] 다음으로 영상화를 위한 더램프 함수(Deramp function)는 다음과 같이 수학적 7로 정의된다.

수학적 7

[0053]
$$h^{-1}(\theta) = e^{j\frac{2\pi}{\lambda} R'(0)\theta^2}$$

[0054] 상기 수학적 7을 이용하여 아래의 수학적 8을 통해 영상화가 이루어진다.

수학적 8

[0055]
$$g(u) = \int s(\theta) h^{-1}(\theta) e^{-j2\pi u \theta} d\theta$$

[0056] 여기서 수신 신호의 정의구역은 $[C-L_s/2, C+L_s/2]$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 C 는 레일에서 산란체를 비추는 안테나의 중심 위치, L_s 는 안테나의 해당 레일 구간의 폭인 아크의 길이를 의미한다. 상기 정의구역을 적분구간으로 하여 상기 수학적 8을 계산하면 다음과 같은 수학적 9가 된다.

수학식 9

$$g(u) = e^{-j\frac{4\pi}{\lambda} R_c} e^{-j2\pi \left(u - \frac{2r}{R_c} x_c\right) C} L_s \text{sinc} \left[\pi L_s \left(u - \frac{2r}{\lambda R_c} x_c\right) \right]$$

즉, 위의 sinc 함수는 $u = \frac{2}{\lambda R_c} x_c$ 에서 최대 피크를 가지며 half power width로 정의되는 해상도는 $\delta u = \frac{1}{L_s}$

을 가진다. 따라서 $x_c = \frac{\lambda R_c}{2r} u$ 에서 영상화가 이루어지며 해상도는 $\delta x_c = \frac{\lambda R_c}{2} \delta u = \frac{\lambda R_c}{2L_s}$ 와 같이 된다.

처리 속도를 향상시키기 위하여, Deramp 함수를 $\theta_c=0$ 일 때를 가정하여 $R''(0) = \frac{R_c r}{R_c - r}$ 로 만들어 간소화 시킨다. 이 때문에 스팟 영상의 중심 영역인 $\theta_c=0$ 에서 정확하며, 주변으로 갈수록 약간의 영상 왜곡이 생긴다. 따라서 본 실시예에서 설명한 방법은 영상의 폭이 좁은 ArcSAR 스팟 모드에 적합하다. 그리고 일정한 각도 영역을 가지는 여러 개의 영상을 조합하여 전방위적인 영상으로 합성하여 ArcSAR 스캔 모드 영상화를 이룬다.

실제 자료처리에서는 Range Migration 후 Deramp 함수를 곱하여 Hamming 필터를 거친 후 Azimuth FFT를 거쳐 영상화하게 된다.

전술한 바와 같은 방법을 이용하면 영상화 처리 시간과 컴퓨터 메모리 사용량이 상대적으로 줄어들게 된다.

(2) Arc-SAR Scan 모드 영상화

Arc-SAR 스캔 모드는 원형 레일을 따라 연속적으로 자료가 얻어지고 전방위적 영상화가 필요하기 때문에 전술한 스팟 모드와는 달리 자료가 연속성을 바탕으로 아래의 기법을 사용하게 된다.

극좌표를 기준으로 자료가 얻어지기 때문에 새로운 수식 전개가 필요하며, 영상화가 극좌표인 영역에서 먼저 얻어진 다음, 직교좌표인 영역으로 이동되는 과정이 수반된다. Arc-SAR 영상 기하는 스팟 모드에서와 같이 도 3을 참조한다.

한 점 (R_c, x_c) 에 위치한 산란체에 대한 새로운 극좌표 기법의 자료처리는 다음과 같다. 스팟 모드에서와 마찬가지로 레인지 압축(range compression)후 자료는 아래 수학식 10과 같다.

수학식 10

$$s(\theta | R_c, x_c) = e^{-j\frac{4\pi}{\lambda} R(\theta | R_c, x_c)} \quad |\theta - \theta_c| < \frac{\lambda}{2L_s}$$

스팟 모드에서와 마찬가지로, 안테나에서 목표지점까지의 거리는 상기 수학식 2로 나타낼 수 있다. 스팟 모드에서와는 다르게 수학식 2를 $\theta = \theta_c$ 를 중심으로 테일러 급수로 전개하면 아래와 같은 수학식 11과 같이 근사할 수 있다.

수학식 11

$$R(\theta) = R(\theta_c) + R'(\theta_c)\theta + \frac{R''(\theta_c)}{2!}\theta^2 + \frac{R'''(\theta_c)}{3!}\theta^3 + \dots$$

이를 계산하면, 아래 수학식 12 ~ 수학식 14로 나타낼 수 있다.

수학식 12

$$R(\theta_c) = R_c - r$$

수학식 13

$$R'(\theta_c)=0$$

수학식 14

$$R''(\theta_c)=\frac{R_c r}{R(\theta_c)^3}=\frac{R_c r}{R_c^3-r^3}$$

위 식을 wavenumber Doppler parameter로 바꾸어주면 아래의 수학식 15로 표현된다.

수학식 15

$$R(\theta|R_c, \theta_c)=R(\theta_c)-\frac{\lambda u_D}{2}(\theta-\theta_c)-\frac{\lambda u_R}{4}(\theta-\theta_c)^2+\dots,$$

$$u_D=0, \quad u_R=-\frac{2}{\lambda} \frac{R_c r}{R_c^3-r^3}$$

따라서 수신 신호는 아래 수학식 16으로 표현된다.

수학식 16

$$s(\theta|R_c, \theta_c)=e^{-j\frac{4\pi}{\lambda}R(\theta_c)}e^{j\pi[u_D(\theta-\theta_c)+u_R(\theta-\theta_c)^2]L}$$

이 신호는 azimuth linear chirp을 형성한다.

본 실시예에 의한 극좌표 알고리즘에서의 영상화를 위한 필터로서 아래 수학식 17로 표현되는 것을 사용한다.

수학식 17

$$h^{-1}(\theta)=e^{-j\pi[u_D(\theta-\theta_c)+u_R(\theta-\theta_c)^2]L}, \quad |\theta|<\frac{\lambda R_c}{2L_x}$$

이를 이용하여 다음의 matched filtering을 수행하면 SAR focusing이 이루어진다.

수학식 18

$$g(\theta)=\int h^{-1}(\theta'-\theta)s(\theta')d\theta'$$

상기 수학식 18에서 해당 적분구간의 중심을 C, 그 폭을 합성구경의 아크를 L_s라고 할 때, 적분 구간은 [C-L_s/2, C+L_s/2]로 나타낼 수 있다. 여기서 C는 레일에서 산란체를 비추는 안테나의 중심 위치, L_s는 안테나의 해당 아크의 폭을 의미한다. 상기 수학식 18을 계산하면 아래 수학식 19와 같이 영상화가 이루어진다.

수학식 19

$$g(\theta)=e^{-j\frac{4\pi}{\lambda}(R_c-r)}e^{j\pi\left[\frac{2}{\lambda(R_c-r)}(\theta-\theta_c)\left(\frac{\theta+\theta_c}{2}-C\right)\right]L_s}\text{sinc}\left[\frac{2\pi R_c r L_s}{\lambda(R_c-r)}(\theta-\theta_c)\right]$$

$\theta=\theta_c$ 에서 최대값 L_s를 가지며, azimuth bandwidth는 $B_\theta=\frac{2R_c r L_s}{\lambda(R_c-r)}$, 해상도는 $\delta\theta=\frac{\lambda(R_c-r)}{2R_c r L_s}$ 이다.

위상은 $\Phi=-\frac{4\pi}{\lambda}(R_c-r)$ 로 되기 때문에 기하보정이 필요하다. 실제 자료처리는 FFT(Fast Fourier

Transform)를 이용하여 수행하게 된다.

[0086] 영상화 프로그램에서는 수학적 식 18의 계산 속도를 높이기 위하여 자료를 azimuth FFT를 하여 range migration을 거치고, azimuth matched filter의 주파수 영역 값을 곱해주는 방법을 이용한다. 또한, 위의 sinc 함수의 주 피크만을 강조하기 위해 azimuth 방향으로 Hamming filter를 적용한 후, azimuth iFFT를 이용하여 다시 시간영역으로 되돌아오게 하여 SAR 영상화가 끝나게 된다.

[0087] 이상과 같이 도면과 명세서에서 실시예가 개시되었다. 여기서 특정한 용어들이 사용되었으나, 이는 단지 본 발명을 설명하기 위한 목적에서 사용된 것이지 의미 한정이나 특허청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 그러므로 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

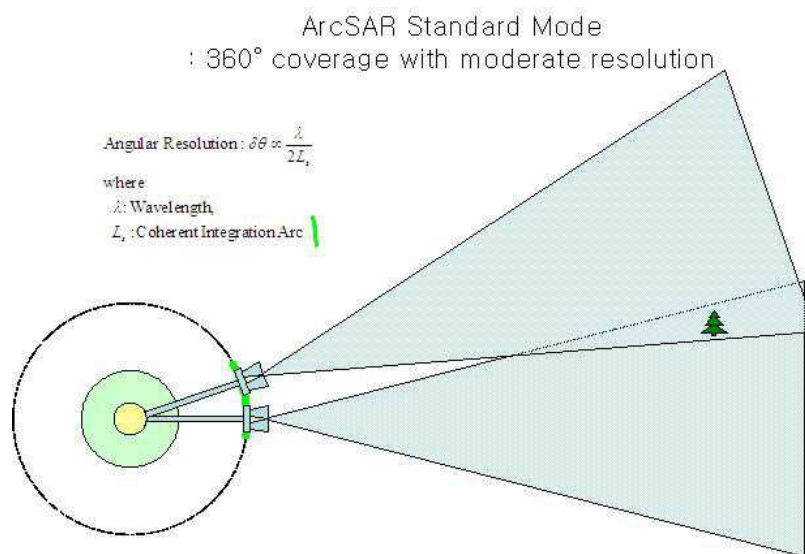
[0088] 도 1은 아크 합성구경 레이더 시스템에서 스캔 모드를 나타낸 도면이다.

[0089] 도 2는 아크 합성구경 레이더 시스템에서 스폿 모드를 나타낸 도면이다.

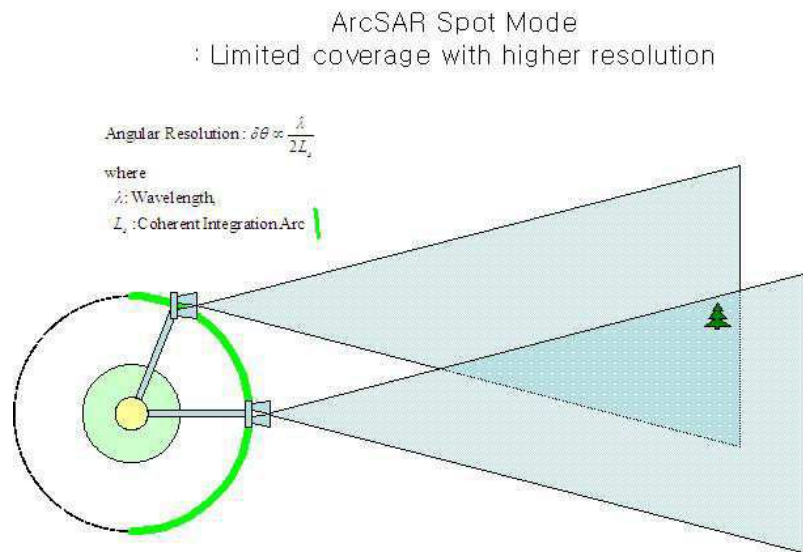
[0090] 도 3은 아크 합성구경 레이더의 영상기하를 나타낸 도면이다.

도면

도면1



도면2



도면3

