(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0143307
(43) 공개일자 2019년12월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 13/90 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 13/9017 (2019.05)
(21) 출원번호 10-2018-0071084
(22) 출원일자 2018년06월20일
심사청구일자 2018년06월20일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
정원주
서울특별시 강남구 삼성로64길 5, 107동 302호
여광구
경기도 평택시 참이슬길 13, 104동 904호
(74) 대리인
김홍석

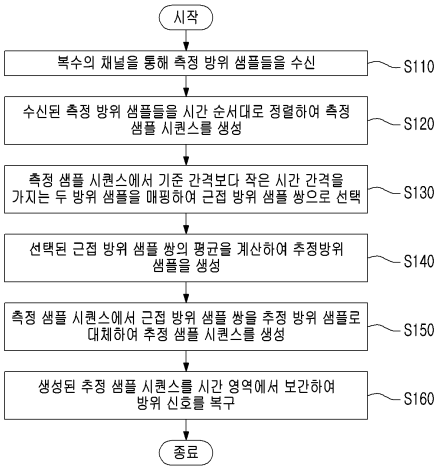
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **높은 비균일 샘플링 환경에서 멀티채널 SAR 시스템을 위한 향상된 방위 신호 복구 방법**

(57) 요 약

본 발명의 멀티채널 SAR(synthetic aperture radar) 시스템의 방위 신호 복구 방법은, 상기 멀티채널 SAR 시스템의 복수의 채널을 통해 측정 방위 샘플들을 수신하는 단계, 상기 측정 방위 샘플들을 시간 순서대로 정렬하여 측정 샘플 시퀀스를 생성하는 단계, 상기 측정 샘플 시퀀스에서 기준 간격보다 작은 시간 간격을 가지는 두 방위 샘플을 매핑하여 근접 방위 샘플 쌍으로 선택하는 단계, 상기 근접 방위 샘플 쌍의 평균을 계산하여 추정 방위 샘플을 생성하는 단계, 상기 측정 샘플 시퀀스에서 상기 근접 방위 샘플 쌍을 상기 추정 방위 샘플로 대체하여 추정 샘플 시퀀스를 생성하는 단계, 그리고 상기 추정 샘플 시퀀스를 시간 영역에서 보간하여 방위 신호를 복구하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도3



명 세 서

청구범위

청구항 1

멀티채널 SAR(synthetic aperture radar) 시스템의 방위 신호 복구 방법에 있어서,

상기 멀티채널 SAR 시스템의 복수의 채널을 통해 측정 방위 샘플들을 수신하는 단계;

상기 측정 방위 샘플들을 시간 순서대로 정렬하여 측정 샘플 시퀀스를 생성하는 단계;

상기 측정 샘플 시퀀스에서 기준 간격보다 작은 시간 간격을 가지는 두 방위 샘플을 매핑하여 근접 방위 샘플 쌍으로 선택하는 단계;

상기 근접 방위 샘플 쌍의 평균을 계산하여 추정 방위 샘플을 생성하는 단계;

상기 측정 샘플 시퀀스에서 상기 근접 방위 샘플 쌍을 상기 추정 방위 샘플로 대체하여 추정 샘플 시퀀스를 생성하는 단계; 그리고

상기 추정 샘플 시퀀스를 시간 영역에서 보간하여 방위 신호를 복구하는 단계를 포함하는 방위 신호 복구 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 측정 샘플 시퀀스를 생성하는 단계에서,

펄스당 방위 샘플들이 중첩되지 않는 경우, 상기 측정 샘플 시퀀스는 송출 펄스의 시간 순서에 따라 1/PRF(pulse repetition frequency)의 주기로 반복되는 방위 샘플 사이의 시간 간격들을 포함하는 방위 신호 복구 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 측정 샘플 시퀀스를 생성하는 단계에서,

펄스당 방위 샘플들이 중첩되는 경우, 상기 측정 방위 샘플들에서 펄스당 중첩되는 샘플 수(K)만큼 처음 수신된 방위 샘플들을 제외하고, 상기 측정 방위 샘플들에서 채널 수(M)와 상기 펄스당 중첩되는 샘플 수(K)의 차이(M-K)만큼 마지막에 수신된 방위 샘플들을 제외하면, 상기 측정 샘플 시퀀스는 1/PRF(pulse repetition frequency)의 주기로 반복되는 방위 샘플 사이의 시간 간격들을 포함하는 방위 신호 복구 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 측정 방위 샘플들 각각은 측정 방위 크기(x[i]) 및 측정 샘플링 위치(t[i])를 포함하고,

채널 수(M) 및 채널당 수신된 샘플 수(N)에 기초하여, 상기 측정 방위 크기(x[i]) 및 상기 측정 샘플링 위치(t[i])는 아래의 수학식과 같이 채널 인덱스(m)와 채널 내 샘플 인덱스(n)의 순서로 정렬되는 방위 신호 복구 방법.

$$x[i] = x_m[n], i = nM + m - 1, n = 0,1,\cdots N-1, m = 1,\cdots,M$$

$$t[i] = t[m,n], i = nM + m - 1, n = 0,1,\cdots N-1, m = 1,\cdots,M$$

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 측정 샘플 시퀀스를 생성하는 단계는,

상기 측정 샘플링 위치(t[i])가 시간 순서대로 정렬된 측정 샘플링 위치(t_{sort})에 기초하여, 상기 측정 방위 크기(x[i])를 시간 순서대로 정렬하여 아래의 수학식과 같이 측정 샘플 시퀀스(x_{sort})를 생성하는 방위 신호 복구 방법.

$$[t_{sort}, order] = sort(t[i]) \quad i = 0,1,\cdots,NM-1$$

$$x_{sort} = x[order]$$

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 측정 샘플링 위치(t_{sort}) 및 상기 측정 샘플 시퀀스(x_{sort})는 PRF(pulse repetition frequency), 상기 채널수(M), 채널 사이 거리(d), 펄스당 중첩되는 샘플 수(K) 및 상기 멀티채널 SAR 시스템의 플랫폼의 속도(Vp)에 기초하여 아래의 수학식과 같이 정렬되는 방위 신호 복구 방법.

$$\bar{t}_{sort} = \begin{cases} t_{sort}[l], l = 0,\cdots,L-1 & PRF < \dfrac{2v_p}{(M-\lceil M/2 \rceil)d} \\ t_{sort}[l+K], l = 0,\cdots,L-M-1 & PRF > \dfrac{2v_p}{(M-\lceil M/2 \rceil)d} \end{cases}$$

$$\bar{x}_{sort} = \begin{cases} x_{sort}[l], l = 0,\cdots,L-1 & PRF < \dfrac{2v_p}{(M-\lceil M/2 \rceil)d} \\ x_{sort}[l+K], l = 0,\cdots,L-M-1 & PRF > \dfrac{2v_p}{(M-\lceil M/2 \rceil)d} \end{cases}$$

$$\frac{2v_p}{(M-K+1-\lceil M/2 \rceil)d} < PRF < \frac{2v_p}{(M-K-\lceil M/2 \rceil)d}$$

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 추정 방위 샘플을 생성하는 단계는,

상기 측정 샘플 시퀀스(x_{sort})에서 상기 측정 샘플링 위치(t_{sort})가 상기 기준 간격보다 작은 상기 근접 방위 샘플 쌍의 평균을 계산하여 아래의 수학식과 같이 추정 샘플링 위치($\hat{t}_{ns}$) 및 추정 샘플 크기($\hat{x}(\hat{t}_{ns})$)를 가지는 상기 추정 방위 샘플을 생성하는 방위 신호 복구 방법.

$$\hat{t}_{ns} = \frac{\bar{t}_{ns} + \bar{t}_{n(s+1)}}{2}$$

$$\hat{x}(\hat{t}_{ns}) = \frac{\bar{x}(\bar{t}_{ns}) + \bar{x}(\bar{t}_{n(s+1)})}{2}$$

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 추정 샘플 시퀀스를 생성하는 단계는,

상기 측정 샘플 시퀀스(x_{sort})에서 상기 근접 방위 샘플 쌍을 상기 추정 샘플링 위치($\hat{t}_{ns}$) 및 상기 추정 샘플 크기($\hat{x}(\hat{t}_{ns})$)를 가지는 상기 추정 방위 샘플로 대체하여 상기 추정 샘플 시퀀스를 생성하는 방위 신호 복구 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 추정 샘플 시퀀스는 추정된 균일 샘플링 주기(T_s) 및 상기 균일 샘플링 주기(T_s)로 반복되는 단위 블록 내에서 m 번째 방위 샘플의 측정 샘플링 위치와 첫 번째 측정 샘플링 위치의 차이(τ_m)를 가지고,

상기 방위 신호를 복구하는 단계는,

아래의 수학식에 상기 추정 샘플 시퀀스를 적용하여 상기 방위 신호를 복구하는 방위 신호 복구 방법.

$$x_r(kT_s)=\sum_{n=0}^{\bar{N}-1}\sum_{m=1}^{M}\bar{x}(\bar{t}_{nm})\psi_{nm}(kT_s),\ k=0,\cdots,\bar{N}M-1$$

$$\psi_{nm}(kT_S)=\frac{M\prod_{s=1}^{M}\sin\left[\pi PRF(kT_s-\bar{t}_{ns})\right]}{\pi M\times PRF(kT_s-\bar{t}_{nm})\prod_{s=1,s\neq m}^{M}\sin\left[\pi PRF(\tau_m-\tau_s)\right]}$$

$$\tau_m=\bar{t}_{sort}[M+m-1]-\bar{t}_{sort}[M],\quad m=1,\cdots,M$$

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 기준 간격은 상기 방위 신호의 복구 전후 대비 잡음 크기의 비율에 기초하여 결정되는 방위 신호 복구 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 멀티채널 SAR(synthetic aperture radar) 시스템에 관한 것으로, 좀 더 구체적으로는 높은 비균일 샘플링(highly nonuniform sampling) 환경에서 매우 가까이에 인접한 샘플들을 대신하여 인접 샘플들의 평균을 샘플값으로 하는 새로운 샘플로 샘플 시퀀스를 구성한 후 시간 영역에서 수신신호의 주기적 비균등 샘플링(periodic nonuniform sampling) 특성을 이용하여 잡음 레벨 증가를 감소시키는 멀티채널 SAR 시스템의 방위 신호 복구 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 멀티채널 SAR(synthetic aperture radar) 시스템은 하나의 채널로 구성된 송신단과 다수의 채널로 구성된 수신단으로 구성된 시스템으로서, 지상에서 반사된 송출신호를 다수의 채널로 수신하여, 광범위한 거리영역의 영상정보를 얻기 위한 낮은 PRF(pulse repetition frequency) 환경에서도 높은 해상도를 갖는 방위영역 영상정보를 획득할 수 있기 때문에 최근 SAR업계에서 많은 연구가 진행되고 있다.

[0003] 멀티채널 SAR 시스템에서 수신단의 각 채널은 방위 신호의 대역폭보다 작은 PRF를 샘플링 주파수로 방위 신호를 샘플링하기 때문에 각 채널 수신신호의 스펙트럼은 에일리어싱(aliasing)으로 인하여 왜곡되어 있다. 또한, 수신단에서 획득한 방위영역 샘플 간의 샘플링 위치 간격은 일반적으로 균일한 간격이 아닌 비균일한 간격을 갖기 때문에 단순히 수신단의 모든 채널의 샘플을 모아서 푸리에 변환을 하는 인터리빙(interleaving) 기법으로는 방위 신호를 정확히 복구하지 못한다. 이를 대체할 방안으로 주파수 영역에서 방위 신호를 복구하는 방법들이 개발되었는데, 주파수 영역에서 각 채널의 왜곡된 스펙트럼과 복구하고자 하는 방위 신호의 스펙트럼과의 관계를 선형 행렬식으로 구성하고 역행렬을 이용하여 방위 신호를 복구하는 매트릭스 인버전(matrix inversion) 기법이 대표적인 방법이다.

[0004] 매트릭스 인버전(matrix inversion) 기법은 왜곡된 신호로 인하여 발생하는 모호성(ambiguity)을 억제하는 데 뛰어난 성능을 보였지만, 샘플들의 샘플링위치 간격이 매우 작은 경우 복구 전 대비 복구 후 잡음의 크기가 급

격히 증가하여 복구된 신호로 이미징을 하면 이미지의 잡음 레벨이 높은 단점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-0991348호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 위에서 설명한 기술적 과제를 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 목적은 시간 영역에서 높은 비균일 샘플링을 구성하는, 즉, 매우 가까이에 인접한 샘플들을 대신하여 인접 샘플들의 평균을 샘플값으로 갖는 새로운 샘플로 구성한 추정 샘플 시퀀스를 시간 영역에서 주기적 비균일 샘플링 특성을 이용한 보간법을 통하여 잡음 레벨 증가를 감소시키는 멀티채널 SAR 시스템의 방위 신호 복구 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 실시 예에 따른 멀티채널 SAR(synthetic aperture radar) 시스템의 방위 신호 복구 방법은, 상기 멀티채널 SAR 시스템의 복수의 채널을 통해 측정 방위 샘플들을 수신하는 단계, 상기 측정 방위 샘플들을 시간 순서대로 정렬하여 측정 샘플 시퀀스를 생성하는 단계, 상기 측정 샘플 시퀀스에서 기준 간격보다 작은 시간 간격을 가지는 두 방위 샘플을 매핑하여 근접 방위 샘플 쌍으로 선택하는 단계, 상기 근접 방위 샘플 쌍의 평균을 계산하여 추정 방위 샘플을 생성하는 단계, 상기 측정 샘플 시퀀스에서 상기 근접 방위 샘플 쌍을 상기 추정 방위 샘플로 대체하여 추정 샘플 시퀀스를 생성하는 단계, 그리고 상기 추정 샘플 시퀀스를 시간 영역에서 보간하여 방위 신호를 복구하는 단계를 포함할 수 있다.

[0008] 실시 예로서, 상기 측정 샘플 시퀀스를 생성하는 단계에서, 펄스당 방위 샘플들이 중첩되지 않는 경우, 상기 측정 샘플 시퀀스는 송출 펄스의 시간 순서에 따라 1/PRF(pulse repetition frequency)의 주기로 반복되는 방위 샘플 사이의 시간 간격들을 포함할 수 있다.

[0009] 실시 예로서, 상기 측정 샘플 시퀀스를 생성하는 단계에서, 펄스당 방위 샘플들이 중첩되는 경우, 상기 측정 방위 샘플들에서 펄스당 중첩되는 샘플 수(K)만큼 처음 수신된 방위 샘플들을 제외하고, 상기 측정 방위 샘플들에서 채널 수(M)와 상기 펄스당 중첩되는 샘플 수(K)의 차이(M-K)만큼 마지막에 수신된 방위 샘플들을 제외하면, 상기 측정 샘플 시퀀스는 1/PRF(pulse repetition frequency)의 주기로 반복되는 방위 샘플 사이의 시간 간격들을 포함할 수 있다.

[0010] 실시 예로서, 상기 측정 방위 샘플들 각각은 측정 방위 크기(x[i]) 및 측정 샘플링 위치(t[i])를 포함하고, 채널 수(M) 및 채널당 수신된 샘플 수(N)에 기초하여, 상기 측정 방위 크기(x[i]) 및 상기 측정 샘플링 위치(t[i])는 아래의 수학식과 같이 채널 인덱스(m)와 채널 내 샘플 인덱스(n)의 순서로 정렬될 수 있다.

[0011] $$x[i] = x_m[n],\ i = nM + m - 1,\ n = 0,1,\cdots N-1,\ m = 1,\cdots,M$$

[0012] $$t[i] = t[m,n],\ i = nM + m - 1,\ n = 0,1,\cdots N-1,\ m = 1,\cdots,M$$

[0013] 실시 예로서, 상기 측정 샘플 시퀀스를 생성하는 단계는, 상기 측정 샘플링 위치(t[i])가 시간 순서대로 정렬된 측정 샘플링 위치(t_{sort})에 기초하여, 상기 측정 방위 크기(x[i])를 시간 순서대로 정렬하여 아래의 수학식과 같이 측정 샘플 시퀀스(x_{sort})를 생성할 수 있다.

[0014] $$[t_{sort}, order] = sort(t[i]) \quad i = 0,1,\cdots,NM-1$$

[0015] $$x_{sort} = x[order]$$

[0016] 실시 예로서, 상기 측정 샘플링 위치(t_{sort}) 및 상기 측정 샘플 시퀀스(x_{sort})는 PRF(pulse repetition frequency), 상기 채널 수(M), 채널 사이 거리(d), 펄스당 중첩되는 샘플 수(K) 및 상기 멀티채널 SAR 시스템의

플랫폼의 속도(Vp)에 기초하여 아래의 수학식과 같이 정렬될 수 있다.

[0017] $$\bar{t}_{sort}=\begin{cases} t_{sort}[l], l=0,\cdots,L-1 & PRF<\dfrac{2v_p}{(M-\lceil M/2\rceil)d} \\ t_{sort}[l+K], l=0,\cdots,L-M-1 & PRF>\dfrac{2v_p}{(M-\lceil M/2\rceil)d} \end{cases}$$

[0018] $$\bar{x}_{sort}=\begin{cases} x_{sort}[l], l=0,\cdots,L-1 & PRF<\dfrac{2v_p}{(M-\lceil M/2\rceil)d} \\ x_{sort}[l+K], l=0,\cdots,L-M-1 & PRF>\dfrac{2v_p}{(M-\lceil M/2\rceil)d} \end{cases}$$

[0019] $$\frac{2v_p}{(M-K+1-\lceil M/2\rceil)d}<PRF<\frac{2v_p}{(M-K-\lceil M/2\rceil)d}$$

[0020] 실시 예로서, 상기 추정 방위 샘플을 생성하는 단계는, 상기 측정 샘플 시퀀스(x_{sort})에서 상기 측정 샘플링 위치(t_{sort})가 상기 기준 간격보다 작은 상기 근접 방위 샘플 쌍의 평균을 계산하여 아래의 수학식과 같이 추정 샘플링 위치($\hat{t}_{ns}$) 및 추정 샘플 크기($\hat{x}(\hat{t}_{ns})$)를 가지는 상기 추정 방위 샘플을 생성할 수 있다.

[0021] $$\hat{t}_{ns}=\frac{\bar{t}_{ns}+\bar{t}_{n(s+1)}}{2}$$

[0022] $$\hat{x}(\hat{t}_{ns})=\frac{\bar{x}(\bar{t}_{ns})+\bar{x}(\bar{t}_{n(s+1)})}{2}$$

[0023] 실시 예로서, 상기 추정 샘플 시퀀스를 생성하는 단계는, 상기 측정 샘플 시퀀스(x_{sort})에서 상기 근접 방위 샘플 쌍을 상기 추정 샘플링 위치($\hat{t}_{ns}$) 및 상기 추정 샘플 크기($\hat{x}(\hat{t}_{ns})$)를 가지는 상기 추정 방위 샘플로 대체하여 상기 추정 샘플 시퀀스를 생성할 수 있다.

[0024] 실시 예로서, 상기 추정 샘플 시퀀스는 추정된 균일 샘플링 주기(T_s) 및 상기 균일 샘플링 주기(T_s)로 반복되는 단위 블록 내에서 m 번째 방위 샘플의 측정 샘플링 위치와 첫 번째 측정 샘플링 위치의 차이(τ_m)를 가지고, 상기 방위 신호를 복구하는 단계는, 아래의 수학식에 상기 추정 샘플 시퀀스를 적용하여 상기 방위 신호를 복구할 수 있다.

[0025] $$x_r(kT_s)=\sum_{n=0}^{\bar{N}-1}\sum_{m=1}^{M}\bar{x}(\bar{t}_{nm})\psi_{nm}(kT_s),\ k=0,\cdots,\bar{N}M-1$$

[0026] $$\psi_{nm}(kT_S)=\frac{M\prod_{s=1}^{M}\sin\left[\pi PRF(kT_s-\bar{t}_{ns})\right]}{\pi M\times PRF(kT_s-\bar{t}_{nm})\prod_{s=1,s\neq m}^{M}\sin\left[\pi PRF(\tau_m-\tau_s)\right]}$$

[0027] $$\tau_m=\bar{t}_{sort}[M+m-1]-\bar{t}_{sort}[M],\quad m=1,\cdots,M$$

[0028] 실시 예로서, 상기 기준 간격은 상기 방위 신호의 복구 전후 대비 잡음 크기의 비율에 기초하여 결정될 수 있다.

발명의 효과

[0029] 본 발명의 실시 예에 따르면, 매우 가까이에 인접한 샘플들을 대신하여 인접 샘플들의 평균을 샘플값으로 갖는 새로운 샘플로 구성한 추정 샘플 시퀀스를 시간 영역에서 주기적 비균일 샘플링 특성을 이용한 보간법을 통하여 잡음 레벨 증가를 감소시키는 멀티채널 SAR 시스템의 방위 신호 복구 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 멀티채널 SAR 시스템의 동작 방법을 개념적으로 보여주는 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 멀티채널 SAR 시스템의 플랫폼을 보여주는 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 방위 신호 복구 방법을 보여주는 순서도이다.

도 4는 시간 순서로 나열된 도 2의 플랫폼을 통해 수신된 신호의 실시 예를 보여주는 도면이다.

도 5는 도 4에서 수신된 신호들 사이의 시간 간격을 자세히 보여주는 도면이다.

도 6은 시간 순서로 나열된 도 2의 플랫폼을 통해 수신된 신호의 다른 실시 예를 보여주는 도면이다.

도 7은 도 6에서 수신된 신호들 사이의 시간 간격을 자세히 보여주는 도면이다.

도 8 및 도 9는 도 4 내지 도 7에서 인접한 두 방위 샘플 사이의 간격이 기준 간격보다 작은 경우 두 방위 샘플에 대응하는 새로운 추정 방위 샘플을 추정하는 방법을 보여주는 도면이다.

도 10은 본 발명의 실시 예에 따른 방위 신호 복구 방법에 의한 잡음의 크기를 보여주는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 앞의 일반적인 설명 및 다음의 상세한 설명 모두 예시적이라는 것이 이해되어야 하며, 청구된 발명의 부가적인 설명이 제공되는 것으로 여겨져야 한다. 참조부호들이 본 발명의 바람직한 실시 예들에 상세히 표시되어 있으며, 그것의 예들이 참조 도면들에 표시되어 있다. 가능한 어떤 경우에도, 동일한 참조 번호들이 동일한 또는 유사한 부분을 참조하기 위해서 설명 및 도면들에 사용된다.

[0032] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들어 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제 2 구성요소는 제 1 구성요소로도 명명될 수 있다.

[0033] 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. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 표현들, 예를 들어 "~사이에"와 "바로~사이에" 또는 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0034] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 설시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0035] 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 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0036] 이하, 실시 예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나 특허출원의 범위가 이러한 실시 예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0037] 도 1은 멀티채널 SAR 시스템의 동작 방법을 개념적으로 보여주는 도면이다. 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 멀티채널 SAR 시스템의 플랫폼을 보여주는 도면이다. 도 1을 참조하면, 멀티채널 SAR 시스템은 방위(Azimuth) 축을 따라 이동 중인 플랫폼에서 PRF(pulse repetition frequency)에 기초하여 펄스를 지상으로 송출할 수 있다. 멀티채널 SAR 시스템은 송출된 펄스가 지상에서 반사된 에코(방위 샘플)를 수신할 수 있다. 멀티채널 SAR

시스템은 수신된 방위 샘플들을 합성하여 높은 방위 해상도를 가지는 이미지를 생성할 수 있다.

[0038] 도 2를 참조하면, 멀티채널 SAR 시스템의 플랫폼(100)은 하나의 송신단(110) 및 복수의 수신단(120)을 포함할 수 있다. 예를 들면, 복수의 수신단(120)은 제1 수신단(121), 제2 수신단(122) 및 제3 수신단(123)을 포함할 수 있다. 도 2에서 플랫폼(100)은 3개의 수신단(121, 122, 123)을 포함하는 것으로 도시되었다. 하지만, 플랫폼(100)은 이것에 제한되지 않는다. 플랫폼(100)은 적어도 하나 이상의 수신단을 포함할 수 있다. 플랫폼(100)은 인공위성, 항공기 등을 포함할 수 있다.

[0039] 일 실시 예로서, 플랫폼(100)은 1개의 채널로 구성된 송신단(110) 및 d의 간격으로 M개의 채널이 선형적으로 배치된 복수의 수신단(120)으로 구성될 수 있다. 이러한 플랫폼(100)은 방위(Azimuth) 축의 방향으로 Vp의 속도로 이동하고, 송신단(110)은 일정한 주기로 펄스를 송출하고, 복수의 수신단(120)은 송출된 펄스가 지상에서 반사된 펄스를 수신할 수 있다. 일정한 주기는 PRF의 역수로 정의될 수 있다. 즉, 송신단(110)은 PRF로 펄스를 송출할 수 있다. 복수의 수신단(120)에서 수신된 펄스들은 멀티채널 SAR 시스템에서 처리되어 이미지로 구현될 수 있다.

[0040] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 방위 신호 복구 방법을 보여주는 순서도이다. 도 3을 참조하면, 멀티채널 SAR 시스템은 플랫폼(100)의 복수의 수신단(120), 즉, 복수의 채널을 통해 측정 방위 샘플들을 수신할 수 있다(S110 단계). 멀티채널 SAR 시스템은 수신된 측정 방위 샘플들을 시간 순서대로 정렬하여 측정 샘플 시퀀스를 생성할 수 있다(S120 단계). 멀티채널 SAR 시스템은 측정 샘플 시퀀스에서 기준 간격보다 작은 시간 간격을 가지는 두 방위 샘플을 매핑하여 근접 방위 샘플 쌍으로 선택할 수 있다(S130 단계). 멀티채널 SAR 시스템은 선택된 근접 방위 샘플 쌍의 평균을 계산하여 추정 방위 샘플을 생성할 수 있다(S140 단계). 멀티채널 SAR 시스템은 측정 샘플 시퀀스에서 근접 방위 샘플 쌍을 추정 방위 샘플로 대체하여 추정 샘플 시퀀스를 생성할 수 있다(S150 단계). 멀티채널 SAR 시스템은 생성된 추정 샘플 시퀀스를 시간 영역에서 보간하여 방위 신호를 복구할 수 있다(S160 단계). 이와 같이 본 발명의 방위 신호 복구 방법에 의해 복구된 방위 신호는 기존의 매트릭스 인버전(matrix inversion) 기법에 의해 복구된 방위 신호보다 잡음의 비율이 감소할 수 있다. 이하에서 도 3에 도시된 방위 신호 복구 방법의 각 단계에 대하여 자세히 설명한다.

[0041] 도 4는 시간 순서로 나열된 도 2의 플랫폼을 통해 수신된 신호의 실시 예를 보여주는 도면이다. 도 5는 도 4에서 수신된 신호들 사이의 시간 간격을 자세히 보여주는 도면이다. 도 6은 시간 순서로 나열된 도 2의 플랫폼을 통해 수신된 신호의 다른 실시 예를 보여주는 도면이다. 도 7은 도 6에서 수신된 신호들 사이의 시간 간격을 자세히 보여주는 도면이다. 도 4 내지 도 7을 참조하면, 예시적으로 3개의 채널을 가지는 플랫폼(100)에서 채널당 4개씩 수신된 방위 샘플들이 도시되었다. 즉, 12개의 방위 샘플들이 도시되었다. 다만, 이는 예시적인 것으로, 플랫폼(100)에 포함된 채널의 개수 및 채널당 수신되는 방위 샘플의 개수는 이것에 제한되지 않는다. 일 실시 예로서, 플랫폼(100)은 M개의 채널을 가지고, 채널당 N개의 방위 샘플들을 수신할 수 있다.

[0042] 도 4 내지 도 7에서, t01, t11, t21, t31 시점에 수신된 방위 샘플은 제1 채널(Channel 1)을 통해 수신되고, t02, t12, t22, t32 시점에 수신된 방위 샘플은 제2 채널(Channel 2)을 통해 수신되고, t03, t13, t23, t33 시점에 수신된 방위 샘플은 제3 채널(Channel 3)을 통해 수신될 수 있다.

[0043] 도 2 내지 도 7을 참조하여, 이하에서는 일반적인 수식으로 설명한다. 플랫폼(100)의 M개의 채널로 수신되는 신호는 EPC(effective phase center) 처리되고, m 번째 채널에 수신된 신호는 방위 신호(s(t))를 PRF의 샘플링 주파수로 샘플링한 측정 방위 샘플로서 수학식 1과 같이 표현될 수 있다.

수학식 1

[0044] $$x_m[n] = s(t[m,n]) + w_m[n], \quad m = 1,\cdots,M,\ n = 0,\cdots,N-1$$

[0045] 수학식 1에서, $w_m[n], m = 1,\cdots,M$는 평균이 0이고, 분산이 σ_n^2인 i.i.d(independent and identically distributed) 백색 가우시안 잡음이다. 수학식 1에서, 샘플링 위치(t[m,n])는 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

수학식 2

[0046] $$t[m,n]=\frac{n}{PRF}+\frac{(m-\left\lceil\frac{M}{2}\right\rceil)d}{2v_p}$$

[0047] 복수의 수신단(120)에서 획득된 모든 측정 방위 샘플들의 측정 샘플 크기(x[i]) 및 측정 샘플링 위치(t[i])는 채널 인덱스(m)와 채널 내 샘플 인덱스(n)의 순서로 정렬하면 수학식 3 및 수학식 4로 표현될 수 있다.

수학식 3

[0048] $$x[i]=x_m[n],\ i=nM+m-1,\ n=0,1,\cdots N-1,m=1,\cdots,M$$

수학식 4

[0049] $$t[i]=t[m,n],\ i=nM+m-1,\ n=0,1,\cdots N-1,m=1,\cdots,M$$

[0050] 시간 영역에서 방위 신호를 복구하기 위해서는 수학식 3의 측정 샘플 크기(x[i])를 시간 순서대로 정렬한 후 보간해야 한다. 예를 들어, $PRF<\frac{2v_p}{(M+1-\lceil M/2\rceil)d}$ 인 경우, 도 4와 같이 펄스당 방위 샘플들이 중첩되지 않기 때문에 수학식 3의 측정 샘플 크기(x[i])는 시간 순서대로 정렬된 샘플 시퀀스가 될 수 있다. 즉, 방위 샘플들(t01, t02, t03)은 하나의 송출 펄스에 의한 방위 샘플이고, 방위 샘플들(t11, t12, t13)은 다른 송출 펄스에 의한 방위 샘플이며, 방위 샘플들(t11, t12, t13)은 방위 샘플들(t01, t02, t03)이 수신된 이후에 수신되고 있다. 그러나 $PRF>\frac{2v_p}{(M+1-\lceil M/2\rceil)d}$ 인 경우, 도 6과 같이 펄스당 방위 샘플들이 중첩되기 때문에 수학식 3의 측정 샘플 크기(x[i])는 시간 순서대로 정렬된 샘플 시퀀스가 아니게 된다. 즉, 방위 샘플들(t01, t02, t03)은 하나의 송출 펄스에 의한 방위 샘플이고, 방위 샘플들(t11, t12, t13)은 다른 송출 펄스에 의한 방위 샘플이지만, 방위 샘플(t11)은 방위 샘플(t03)보다 먼저 수신되고 있다. 따라서, 수학식 4를 증가하는 크기 순서대로 정렬하고, 그 정렬순서와 동일하게 수학식 3을 정렬하면, 수학식 5 및 수학식 6과 같이 시간 순서대로 정렬된 측정 샘플링 위치(t_{sort}) 및 측정 샘플 시퀀스(x_{sort})는 획득될 수 있다.

수학식 5

[0051] $$[t_{sort},order]=sort(t[i])\quad i=0,1,\cdots,NM-1$$

수학식 6

[0052] $$x_{sort}=x[order]$$

[0053] 수학식 5 및 수학식 6은 매틀랩(matlab)에서 증가하는 크기 순서대로 정렬하는 sort() 함수를 인용하여 표현되었다. 수학식 5 및 수학식 6의 order는 t에서 t_{sort}로의 인덱스 변화를 나타내며, 수학식 6에 의하면 시간 순서대로 정렬된 측정 샘플 시퀀스는 획득될 수 있다.

[0054] 일 실시 예로서, $PRF<\frac{2v_p}{(M+1-\lceil M/2\rceil)d}$ 인 경우, 수학식 5를 예시적으로 도시하면 도 4 및 도 5와 같이

표현될 수 있다. 도 4 및 도 5에서, 측정 샘플링 위치(tnm)는 M개(예를 들어, 도 4 및 도 5에서 M=3)의 블록 내 비균일 시간 간격들이 1/PRF를 주기로 반복된다. 따라서, 정렬된 측정 샘플 시퀀스(x_{sort})는 방위 신호(s(t))가 주기적으로 비균일 샘플링된 신호이다.

[0055] 일 실시 예로서, $PRF > \frac{2v_p}{(M+1-\lceil M/2 \rceil)d}$ 인 경우, 수학식 5를 예시적으로 도시하면 도 6 및 도 7과 같이 표현될 수 있다. 도 6 및 도 7에서, 펄스당 중첩되는 샘플 수를 K라고 할 때, 측정 샘플 시퀀스(x_{sort})에서 처음 K개의 샘플과 마지막 M-K개의 샘플을 제거하면, M개(예를 들어, 도 6 및 도 7에서 K=1, M=3)의 블록 내 비균일 시간 간격들이 1/PRF를 주기로 반복된다.

[0056] 이러한 측정 샘플링 위치의 주기적인 특성은 수학식 7과 같이 표현될 수 있다.

수학식 7

[0057]
$$\bar{t}_{sort} = \begin{cases} t_{sort}[l], l = 0,\cdots,L-1 & PRF < \frac{2v_p}{(M-\lceil M/2 \rceil)d} \\ t_{sort}[l+K], l = 0,\cdots,L-M-1 & PRF > \frac{2v_p}{(M-\lceil M/2 \rceil)d} \end{cases}$$

[0058] K는 수학식 8을 만족하는 정수로 결정될 수 있다.

수학식 8

[0059]
$$\frac{2v_p}{(M-K+1-\lceil M/2 \rceil)d} < PRF < \frac{2v_p}{(M-K-\lceil M/2 \rceil)d}$$

[0060] 수학식 7의 측정 샘플링 위치($\bar{t}_{sort}$)에 대응하는 측정 샘플 시퀀스($\bar{x}_{sort}$)는 수학식 9와 같이 표현될 수 있다.

수학식 9

[0061]
$$\bar{x}_{sort} = \begin{cases} x_{sort}[l], l = 0,\cdots,L-1 & PRF < \frac{2v_p}{(M-\lceil M/2 \rceil)d} \\ x_{sort}[l+K], l = 0,\cdots,L-M-1 & PRF > \frac{2v_p}{(M-\lceil M/2 \rceil)d} \end{cases}$$

[0062] 새롭게 구성된 측정 샘플링 위치($\bar{t}_{sort}$)는 주기적으로 비균일이므로 수학식 10과 같이 표현될 수 있다.

수학식 10

[0063]
$$\bar{t}_{nm} := \bar{t}_{sort}[nM+m-1] = n\frac{1}{PRF} + \tau_m, \quad n = 0,\cdots,\bar{N}-1\ ,\ m = 1,\cdots,M$$

[0064] 수학식 10에서, $\bar{N}$는 수학식 11과 같이 결정될 수 있다.

수학식 11

[0065]
$$\overline{N}=\begin{cases} N & PRF < \dfrac{2v_p}{(M-\lceil M/2 \rceil)d} \\ N-1 & PRF > \dfrac{2v_p}{(M-\lceil M/2 \rceil)d} \end{cases}$$

[0066] 수학식 10에서, τ_m는 단위 블록 내에서 m 번째 방위 샘플의 측정 샘플링 위치와 첫 번째 측정 샘플링 위치의 차이로서 수학식 12와 같이 표현될 수 있다.

수학식 12

[0067]
$$\tau_m = \bar{t}_{sort}[M+m-1] - \bar{t}_{sort}[M], \quad m = 1,\cdots,M$$

[0068] 측정 샘플링 위치($\bar{t}_{nm}$)에 대응하는 측정 샘플 시퀀스($\bar{x}(\bar{t}_{nm})$)는 수학식 13과 같이 표현될 수 있다.

수학식 13

[0069]
$$\bar{x}(\bar{t}_{nm}) := \bar{x}_{sort}[nM+m-1] \quad n = 0,\cdots,\overline{N}-1 \ , \ m = 1,\cdots,M$$

[0070] 방위 신호는 수학식 13의 측정 샘플 시퀀스($\bar{x}(\bar{t}_{nm})$)로부터 수학식 14의 보간 방법으로 시간 영역에서 보간하여 복구될 수 있다.

수학식 14

[0071]
$$x_r(kT_s) = \sum_{n=0}^{\overline{N}-1}\sum_{m=1}^{M}\bar{x}(\bar{t}_{nm})\psi_{nm}(kT_s), \ k = 0,\cdots,\overline{N}M-1$$

[0072] 수학식 14에서, $\psi_{nm}(kT_S)$는 수학식 15와 같이 결정될 수 있다.

수학식 15

[0073]
$$\psi_{nm}(kT_S) = \frac{M\prod_{s=1}^{M}\sin\left[\pi PRF(kT_s - \bar{t}_{ns})\right]}{\pi M \times PRF(kT_s - \bar{t}_{nm}) \prod_{s=1, s\neq m}^{M}\sin\left[\pi PRF(\tau_m - \tau_s)\right]}$$

[0074] 수학식 14 및 수학식 15에서, T_s는 균일 샘플링 주기를 의미한다. 수학식 14에 의해 복구된 방위 신호는 기존의 매트릭스 인버전(matrix inversion) 기법과 마찬가지로 인접한 샘플링 위치가 매우 가까운 경우 복구된 신호에 포함된 잡음의 크기가 증가할 수 있다. 따라서, 본 발명의 방위 신호 복구 방법은 인접한 두 샘플링 위치의 간격이 미리 설정된 기준 간격보다 작은 경우 인접한 두 방위 샘플을 두 방위 샘플의 평균을 샘플값으로 갖는 새로운 추정 방위 샘플로 대체한 후 수학식 14의 보간 방법을 수행할 수 있다.

[0075] 도 8 및 도 9는 도 4 내지 도 7에서 인접한 두 방위 샘플 사이의 간격이 기준 간격보다 작은 경우 두 방위 샘플에 대응하는 새로운 추정 방위 샘플을 추정하는 방법을 보여주는 도면이다. 예를 들면, 멀티채널 SAR 시스템은

인접한 두 방위 샘플의 시간 간격이 기준 간격보다 작은 경우 인접한 두 방위 샘플을 매핑하여 근접 방위 샘플 쌍으로 선택할 수 있다. 멀티채널 SAR 시스템은 근접 방위 샘플 쌍의 평균을 계산하여 새롭게 추정 방위 샘플을 생성할 수 있다.

[0076] 기준 간격은 복구 전후 대비 잡음 크기 비율을 나타내는 수학식 16을 참조하여 정의될 수 있다.

수학식 16

[0077] $$\frac{\bar{\sigma}_n^2}{\sigma_n^2} = \frac{1}{L}\sum_{k=0}^{L-1}\sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=1}^{M}|\psi_{nm}(kT_S)|^2$$

[0078] 수학식 16에서 $\psi_{nm}(kT_s)$는 $\tau_m - \tau_s$의 함수이기 때문에, 근접 방위 샘플 쌍을 선택하기 위해 허용될 수 있는 잡음 증가율을 갖는 기준 간격은 수학식 16에 의해 결정될 수 있다. 기준 간격 이하의 간격을 갖는 근접 방위 샘플 쌍의 측정 샘플링 위치를 $\bar{t}_{ns}$, $\bar{t}_{n(s+1)}$라고 하면, 새로운 추정 방위 샘플은 수학식 17과 같은 추정 샘플링 위치($\hat{t}_{ns}$) 및 수학식 18과 같은 추정 샘플 크기($\hat{x}(\hat{t}_{ns})$)를 가질 수 있다.

수학식 17

[0079] $$\hat{t}_{ns} = \frac{\bar{t}_{ns} + \bar{t}_{n(s+1)}}{2}$$

수학식 18

[0080] $$\hat{x}(\hat{t}_{ns}) = \frac{\bar{x}(\bar{t}_{ns}) + \bar{x}(\bar{t}_{n(s+1)})}{2}$$

[0081] 본 발명의 방위 신호 복구 방법은 측정 샘플 시퀀스 내의 방위 샘플들 중 인접한 두 방위 샘플 사이의 시간 간격이 기준 간격보다 작은 경우 두 방위 샘플을 수학식 17 및 수학식 18을 통해 계산한 추정 방위 샘플로 대체하여 새로운 추정 샘플 시퀀스를 구성하고, 이를 이용하여 수학식 14에 의해 방위 신호를 복구할 수 있다. 이러한 본 발명의 방위 신호 복구 방법에 따르면, 복구된 방위 신호에 포함된 잡음의 크기는 감소될 수 있다.

[0082] 도 10은 본 발명의 실시 예에 따른 방위 신호 복구 방법에 의한 잡음의 크기를 보여주는 그래프이다. 도 10은 샘플링 위치 간격이 좁은 PRF(=3111Hz)를 사용한 경우 이미지에 대응하는 신호의 크기를 보여주는 그래프이다.

[0083] 도 10을 참조하면, 파란색으로 표시된 그래프는 기존의 매트릭스 인버전(matrix inversion) 기법을 사용하였을 때의 잡음의 크기를 나타낸다. 빨간색으로 표시된 그래프는 본 발명의 실시 예에 따른 방위 신호 복구 방법을 사용하였을 때의 잡음의 크기이다. 즉, 기존의 매트릭스 인버전(matrix inversion) 기법을 통해 복구한 방위 신호에 포함된 잡음이 크기 때문에 이미지의 잡음 레벨이 높은 것을 확인할 수 있다.

[0084] 이상에서와 같이 도면과 명세서에서 실시 예가 개시되었다. 여기서 특정한 용어들이 사용되었으나, 이는 단지 본 발명을 설명하기 위한 목적에서 사용된 것이지 의미 한정이나 특허 청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 그러므로 본 기술분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

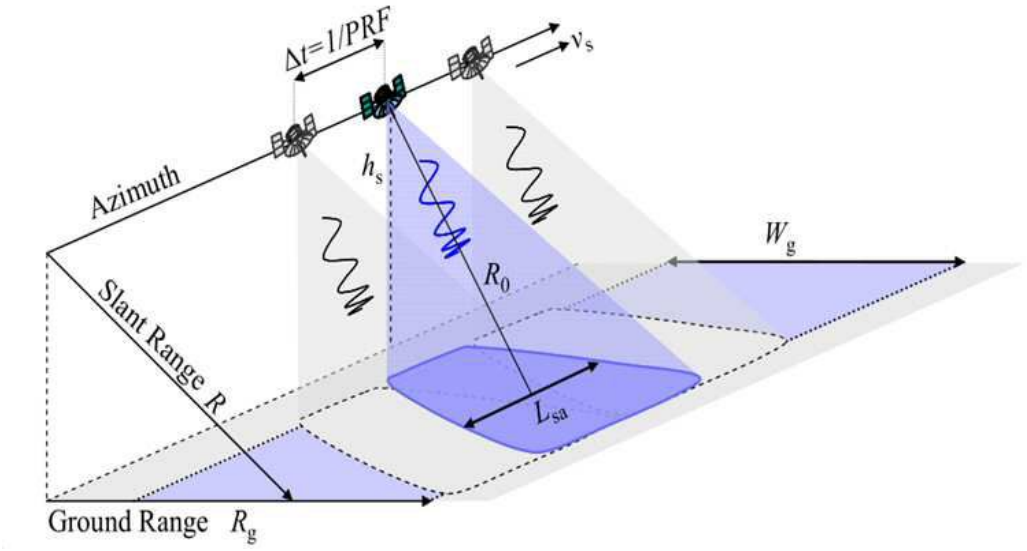
[0085] 100: 플랫폼

110: 송신단

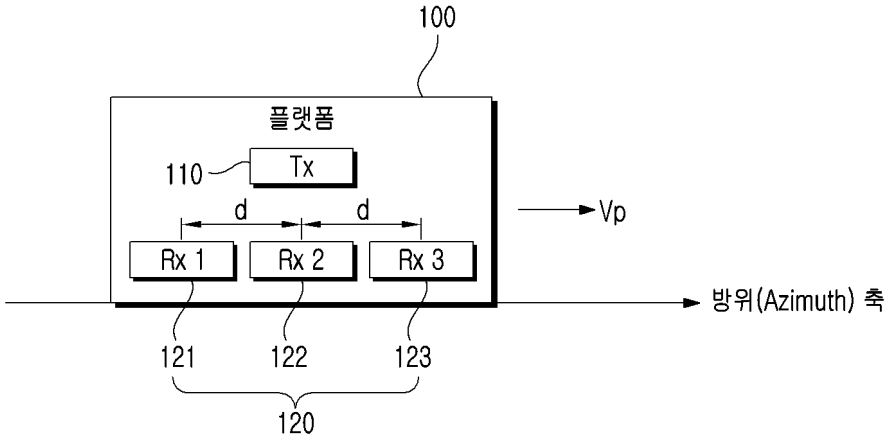
120: 복수의 수신단

도면

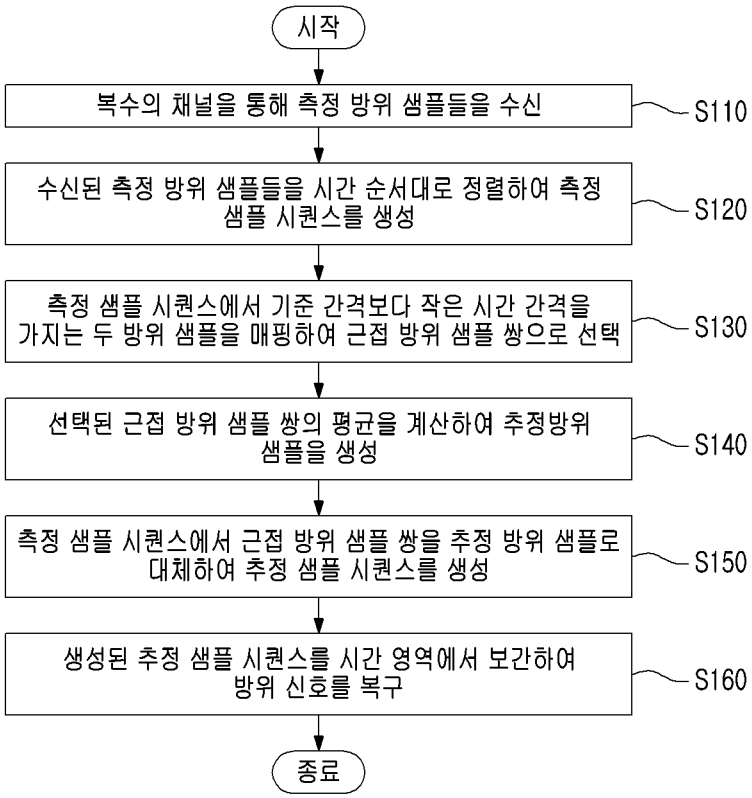
도면1



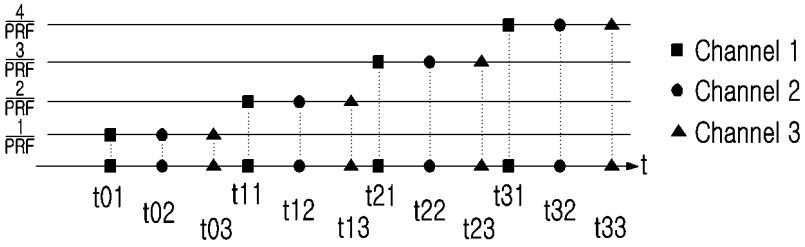
도면2



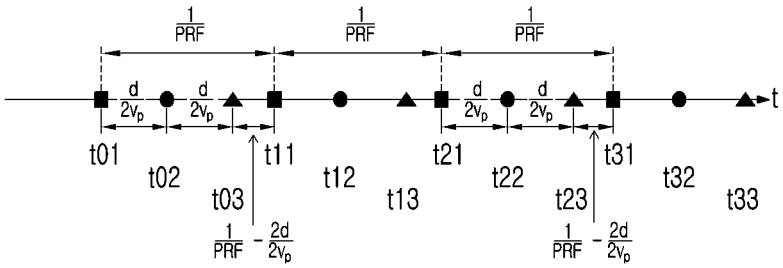
도면3


시작
복수의 채널을 통해 측정 방위 샘플들을 수신
S110
수신된 측정 방위 샘플들을 시간 순서대로 정렬하여 측정 샘플 시퀀스를 생성
S120
측정 샘플 시퀀스에서 기준 간격보다 작은 시간 간격을 가지는 두 방위 샘플을 매핑하여 근접 방위 샘플 쌍으로 선택
S130
선택된 근접 방위 샘플 쌍의 평균을 계산하여 추정방위 샘플을 생성
S140
측정 샘플 시퀀스에서 근접 방위 샘플 쌍을 추정 방위 샘플로 대체하여 추정 샘플 시퀀스를 생성
S150
생성된 추정 샘플 시퀀스를 시간 영역에서 보간하여 방위 신호를 복구
S160
종료

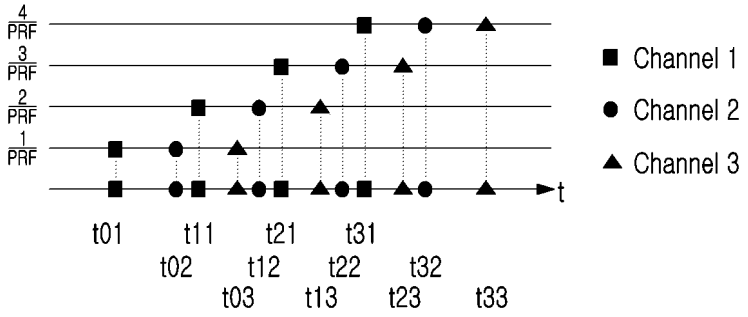
도면4


4/PRF
3/PRF
2/PRF
1/PRF
t
t01
t02
t03
t11
t12
t13
t21
t22
t23
t31
t32
t33
Channel 1
Channel 2
Channel 3

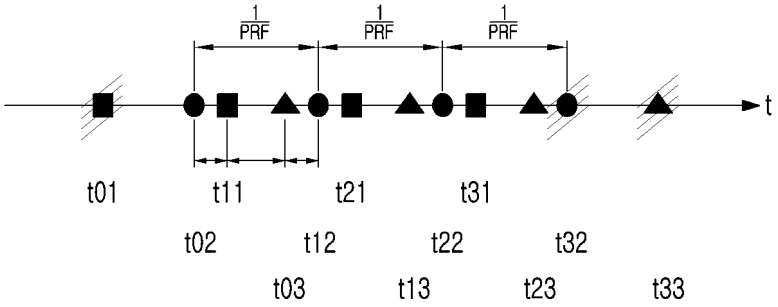
도면5


1/PRF
1/PRF
1/PRF
d/2v_p
d/2v_p
d/2v_p
d/2v_p
t
t01
t02
t03
t11
t12
t13
t21
t22
t23
t31
t32
t33
1/PRF - 2d/2v_p
1/PRF - 2d/2v_p

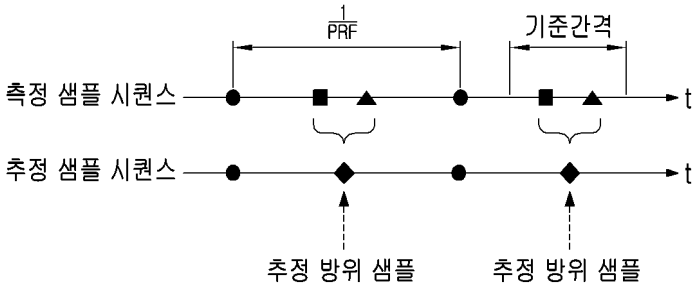
도면6


4/PRF
3/PRF
2/PRF
1/PRF
t
Channel 1
Channel 2
Channel 3
t01
t02
t03
t11
t12
t13
t21
t22
t23
t31
t32
t33

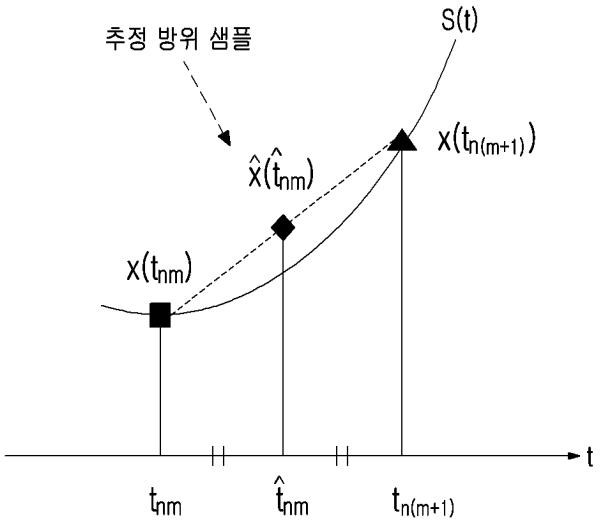
도면7


1/PRF
1/PRF
1/PRF
t
t01
t02
t03
t11
t12
t13
t21
t22
t23
t31
t32
t33

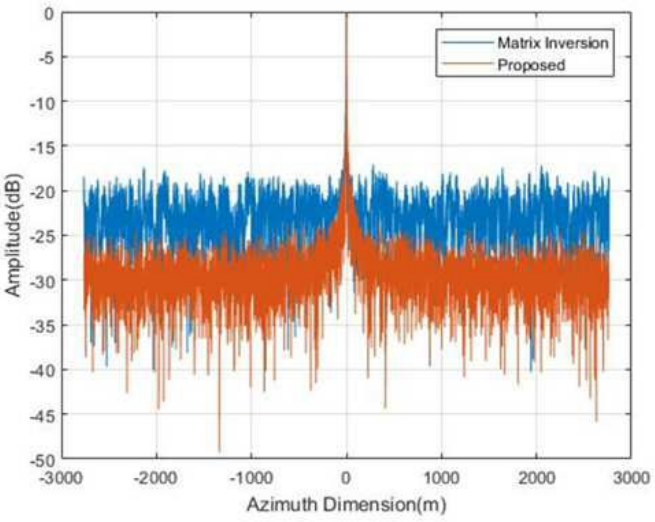
도면8


1/PRF
기준간격
측정 샘플 시퀀스
t
추정 샘플 시퀀스
t
추정 방위 샘플
추정 방위 샘플

도면9


추정 방위 샘플
S(t)
$x(t_{n(m+1)})$
$\hat{x}(\hat{t}_{nm})$
$x(t_{nm})$
t
t_{nm}
$\hat{t}_{nm}$
$t_{n(m+1)}$

도면10


Matrix Inversion
Proposed
Amplitude(dB)
Azimuth Dimension(m)
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
-50
-3000
-2000
-1000
0
1000
2000
3000