(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0082080
(43) 공개일자 2024년06월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 7/292 (2006.01) *G01S 13/95* (2006.01)
G01S 7/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 7/292 (2013.01)
G01S 13/95 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0166048
(22) 출원일자 2022년12월01일
심사청구일자 2022년12월01일

(71) 출원인
국립부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
권병혁
부산광역시 수영구 광안해변로15번길 68, 505동 1402호(남천동, 뉴비치)
이경훈
부산광역시 사하구 다대로 470, 101동 606호(다대동, 다대해송아파트)
(74) 대리인
오위환, 나성곤, 정기택

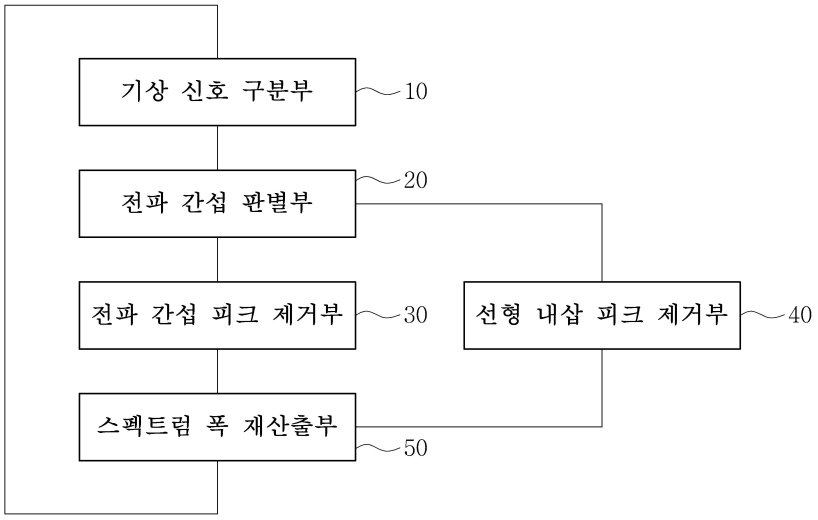
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼 자료를 이용하여 다중 전파 간섭이 발생했을 때 오염된 부분을 제거하고 기상 신호를 효율적으로 복원할 수 있도록 한 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치 및 방법에 관한 것으로, 스펙트럼 폭 임계값을 통해 기상 신호와 비기상 신호를 구분하는 기상 신호 구분부;비기상 신호로 판별된 피크에 대해 고도별 연속성을 확인하여 전파 간섭을 판별하는 전파 간섭 판별부;전파 간섭으로 판별된 피크를 노이즈화를 통해 제거하는 전파 간섭 피크 제거부;기상 신호로 판별된 피크들에 대해서도 임계값을 다르게 하여 연속성을 확인하고 전파 간섭을 판별하고 선형 내삽을 적용하여 전파 간섭으로 판별된 피크를 제거하는 선형 내삽 피크 제거부;를 포함하는 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01S 7/023 (2022.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1365003650
과제번호 KMA2021-03121
부처명 기상청
과제관리(전문)기관명 기상청
연구사업명 국가레이더통합활용기술개발
연구과제명 레이더 기반 위험기상 감시기술 개발
기 여 율 1/1
과제수행기관명 기상레이더센터
연구기간 2022.01.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

스펙트럼 폭 임계값을 통해 기상 신호와 비기상 신호를 구분하는 기상 신호 구분부;

비기상 신호로 판별된 피크에 대해 고도별 연속성을 확인하여 전파 간섭을 판별하는 전파 간섭 판별부;

전파 간섭으로 판별된 피크를 노이즈화를 통해 제거하는 전파 간섭 피크 제거부;

기상 신호로 판별된 피크들에 대해서도 임계값을 다르게 하여 연속성을 확인하고 전파 간섭을 판별하고 선형 내삽을 적용하여 전파 간섭으로 판별된 피크를 제거하는 선형 내삽 피크 제거부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 전파 간섭 피크 제거부 및 선형 내삽 피크 제거부를 통하여 전파 간섭 피크를 제거한 후 새롭게 피크를 검색하여 스펙트럼 폭을 다시 산출하고, 전파 간섭이 검색되지 않을 때까지 검색 및 제거 과정을 계속해서 반복하도록 하는 스펙트럼 폭 재산출부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치.

청구항 3

윈드프로파일러의 원시 스펙트럼이 입력되면 스펙트럼 폭 임계값을 통해 기상 신호와 비기상 신호를 구분하는 단계;

비기상 신호로 판별된 피크에 대해 고도별 연속성을 확인하여 전파 간섭을 판별하는 단계;

전파 간섭으로 판별된 피크를 노이즈화를 통해 제거하는 단계;

기상 신호로 판별된 피크들에 대해서 임계값을 달리하여 연속성을 확인하고 전파 간섭을 판별하고, 선형 내삽을 적용하여 피크를 제거하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서, 노이즈화 및 선형 내삽을 적용하여 피크를 제거하고,

다시 피크를 검색하여 스펙트럼 폭을 다시 산출하고, 전파 간섭이 검색되지 않을 때까지 검색 및 제거 과정을 계속해서 반복하는 스펙트럼 폭 재산출 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 방법.

청구항 5

제 3 항에 있어서, 기상 신호와 비기상 신호를 구분하는 단계에서 스펙트럼 폭 임계값을 0.1 ㎧으로 설정하고,

스펙트럼 폭이 0.1 ㎧ 보다 크면 기상 신호 크지 않다면 비기상 신호로 구분하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 방법.

청구항 6

제 3 항에 있어서, 고도별 연속성을 확인하기 위한 연속성 평가 기준을,

비기상 신호로 판별된 피크에 대해 바람 벡터 연속성을 평가하는 기준을 4 gates로 설정하고,

기상 신호로 판별된 피크에 대해 바람 벡터 연속성을 평가하는 기준을 연직 빔의 경우 15 gates, 경사 빔의 경우 8 gates로 설정하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 방법.

청구항 7

제 3 항에 있어서, 전파 간섭으로 판별된 피크를 노이즈화를 통해 제거하는 단계에서,

노이즈화는 Median 방법 또는 Hildebrand 방법으로 산출한 잡음 전력에 맞춰 피크를 잡음 전력으로 대체하는 방법을 적용하고,

$$f(n)=\frac{S\left(\frac{FFTn}{2}\right)+S\left(\frac{FFTn}{2}+1\right)}{2}$$

잡음 전력 피크를 기준으로 5 FFT(±2 FFT)에 대해 노이즈화를 진행하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 방법.

청구항 8

제 3 항에 있어서, 선형 내삽을 적용하여 피크를 제거하는 단계에서,

실제 기상 신호가 제거되면 안 되므로 연속성 기준을 저층 모드 기준 1/2, 1/4로 설정하고, 제거 후에도 피크 형태를 유지하기 위해 노이즈화가 아닌 선형 내삽 방법을

$$f(n)=\left(1-\frac{n-1}{P_5-P_1}\right)\times f(1)+\left(\frac{n-1}{P_5-P_1}\right)\times f(5)$$

으로 적용하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 윈드프로파일러 스펙트럼 처리에 관한 것으로, 구체적으로 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼 자료를 이용하여 다중 전파 간섭이 발생했을 때 오염된 부분을 제거하고 기상 신호를 효율적으로 복원할 수 있도록 한 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 윈드프로파일러는 연직으로 펄스파를 방사하고, 대기 중의 산란체에 의해 후방 산란된 신호를 수집하여 바람을 관측하는 원격탐사장비이다.

[0003] 수집된 신호의 처리 과정은 크게 IQ 신호 단계 → 스펙트럼 단계 → 모멘트 단계 → 바람 산출 단계로 나뉜다.

[0004] IQ 신호 단계는 자료의 용량이 아주 많고, 처리하기 힘들다는 단점이 있어서 주로 스펙트럼 단계에서의 연구가 이루어졌다.

[0005] 스펙트럼 단계에서는 기상 신호 및 비기상 신호(지형 에코, 새 에코, 항공기 에코, 전파 간섭 등)의 피크를 추정할 수 있으며, 이를 통해 바람 벡터를 산출하거나 비기상 신호를 제거하는 여러 가지 방법들이 연구되고 제시되었다.

[0006] 이와 같이 원격 탐사장비 특성상 관측 과정에서 하드웨어, 클러터 등 여러 가지 문제가 발생한다. 특히 주변 환경의 전파 간섭에 의한 스펙트럼 오염은 기상 신호를 찾기 어렵게 만들고 정확한 바람 산출에 문제를 초래하므로, 전파 간섭 탐지와 제거는 아주 중요하다.

[0007] 전파 간섭은 크게 내부 전파 간섭과 외부 전파 간섭으로 나뉜다.

[0008] 내부 전파 간섭은 주로 하드웨어에 의해 발생하며, 최하층 고도에 특정한 잡음이 나타나는 특징이 있다.

[0009] 외부 전파 간섭은 주변 전파 환경에 의해 발생하며, 일정한 피크가 고도에 따라 연속적으로 나타나는 특징이 있다.

[0010] 윈드프로파일러에서 바람을 관측하기 위해 펄스파를 송수신하는 과정에서 같은 안테나에서 펄스파의 송수신이

이루어지므로, 송신과 수신 이후 다음 송신까지 일정한 간격이 존재한다. 이때 송신 신호와 수신 신호를 중간에서 구별해주는 매개체 역할을 하는 송수신 전환 스위치에 문제가 발생하면, 내부에 남은 잔여 전력이 특정 주파수의 강한 신호로 나타나 간섭을 일으킨다.

[0011] 이외에도 전원 잡음 등 다른 하드웨어적인 원인에 의해 발생하는 간섭을 내부 전파 간섭이라고 한다. 내부 전파 간섭은 스펙트럼 상에서 주로 낮은 고도에 특정한 형태의 피크가 모든 빔에서 나타나는 특징이 있다.

[0012] 외부 전파 간섭은 내부 전파 간섭과 달리 주로 중상층 또는 전체 고도에서 일정한 피크가 연속적으로 나타나는 형태를 보인다.

[0013] 이는 고도가 높아질수록 윈드프로파일러에 수신되는 펄스 신호의 세기가 약해지고, 외부에서 유입되는 간섭 신호의 세기가 더 크게 나타나기 때문이다.

[0014] 한편, 2017년 11월부터 2021년 12월까지 국내 기술의 윈드프로파일러를 개발하는 연구가 진행되었고, 연구의 일환으로 품질관리기술 연구도 진행되었다. 개발한 윈드프로파일러의 시제품 운용 기간에 스펙트럼 자료에서 전파 간섭을 발견하였는데, 일반적으로 알려진 전파 간섭과는 다른 형태를 갖는다.

[0015] 전파 간섭은 스펙트럼 상에서 특정 주파수에 대해 고도별로 연속적인 피크가 나타나는 것이 특징인데, 운용 기간에 나타난 전파 간섭은 이러한 전파 간섭이 여러 주파수 대역에서 중첩되어 나타났다.

[0016] 이와 같이 전파 간섭이 여러 주파수 대역에서 중첩되어 나타나는 경우에는 기상 신호 복원이 어려운 문제를 발생시킨다.

[0017] 따라서, 스펙트럼 단계에서 다중 전파 간섭을 제거하기 위한 새로운 기술의 개발이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0018] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1255737호

(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 제10-2387059호

(특허문헌 0003) 대한민국 공개특허 제10-2021-0085787호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0019] 본 발명은 종래 기술의 윈드프로파일러 스펙트럼 처리 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼 자료를 이용하여 다중 전파 간섭이 발생했을 때 오염된 부분을 제거하고 기상 신호를 효율적으로 복원할 수 있도록 한 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0020] 본 발명은 스펙트럼 폭 임계값을 통해 기상 신호와 비기상 신호를 구분하고, 구분된 신호들에 대해 각기 다른 임계값을 적용하여 고도별 연속성을 판별하는 것에 의해 전파 간섭 제거 및 기상 신호 피크 복원이 효율적으로 이루어질 수 있도록 한 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0021] 본 발명은 비기상 신호로 판별된 피크에 대해 고도별 연속성을 확인하여 전파 간섭을 판별하여 전파 간섭으로 판별된 피크는 노이즈화를 통해 제거하고, 기상 신호로 판별된 피크들에 대해서도 임계값을 달리하여 연속성을 확인하고 전파 간섭을 판별하여 선형 내삽을 적용하여 피크를 제거하여 강인한 전파 간섭 제거가 가능하도록 한 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0022] 본 발명은 다중 전파 간섭은 전파 간섭 제거 이후에도 전파 간섭이 다른 주파수에 존재하거나 중첩되어 있으므로 전파 간섭 피크를 제거한 후 새롭게 피크를 검색하여 스펙트럼 폭을 다시 산출하고, 전파 간섭이 검색되지 않을 때까지 검색 및 제거 과정을 계속해서 반복하여 기상 신호의 정확한 복원이 가능하도록 한 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0023] 본 발명의 다른 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0024] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치는 스펙트럼 폭 임계값을 통해 기상 신호와 비기상 신호를 구분하는 기상 신호 구분부;비기상 신호로 판별된 피크에 대해 고도별 연속성을 확인하여 전파 간섭을 판별하는 전파 간섭 판별부;전파 간섭으로 판별된 피크를 노이즈화를 통해 제거하는 전파 간섭 피크 제거부;기상 신호로 판별된 피크들에 대해서도 임계값을 다르게 하여 연속성을 확인하고 전파 간섭을 판별하고 선형 내삽을 적용하여 전파 간섭으로 판별된 피크를 제거하는 선형 내삽 피크 제거부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0025] 여기서, 전파 간섭 피크 제거부 및 선형 내삽 피크 제거부를 통하여 전파 간섭 피크를 제거한 후 새롭게 피크를 검색하여 스펙트럼 폭을 다시 산출하고, 전파 간섭이 검색되지 않을 때까지 검색 및 제거 과정을 계속해서 반복하도록 하는 스펙트럼 폭 재산출부를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0026] 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 방법은 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼이 입력되면 스펙트럼 폭 임계값을 통해 기상 신호와 비기상 신호를 구분하는 단계;비기상 신호로 판별된 피크에 대해 고도별 연속성을 확인하여 전파 간섭을 판별하는 단계;전파 간섭으로 판별된 피크를 노이즈화를 통해 제거하는 단계;기상 신호로 판별된 피크들에 대해서 임계값을 달리하여 연속성을 확인하고 전파 간섭을 판별하고, 선형 내삽을 적용하여 피크를 제거하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0027] 여기서, 노이즈화 및 선형 내삽을 적용하여 피크를 제거하고, 다시 피크를 검색하여 스펙트럼 폭을 다시 산출하고, 전파 간섭이 검색되지 않을 때까지 검색 및 제거 과정을 계속해서 반복하는 스펙트럼 폭 재산출 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0028] 그리고 기상 신호와 비기상 신호를 구분하는 단계에서 스펙트럼 폭 임계값을 0.1 m/s으로 설정하고, 스펙트럼 폭이 0.1 m/s 보다 크면 기상 신호 크지 않다면 비기상 신호로 구분하는 것을 특징으로 한다.

[0029] 그리고 고도별 연속성을 확인하기 위한 연속성 평가 기준을, 비기상 신호로 판별된 피크에 대해 바람 벡터 연속성을 평가하는 기준을 4 gates로 설정하고, 기상 신호로 판별된 피크에 대해 바람 벡터 연속성을 평가하는 기준을 연직 빔의 경우 15 gates, 경사 빔의 경우 8 gates로 설정하는 것을 특징으로 한다.

[0030] 그리고 전파 간섭으로 판별된 피크를 노이즈화를 통해 제거하는 단계에서, 노이즈화는 Median 방법 또는 Hildebrand 방법으로 산출한 잡음 전력에 맞춰 피크를 잡음 전력으로 대체하는 방법을 적용하고,

[0031] $$f(n)=\frac{S\left(\frac{FFTn}{2}\right)+S\left(\frac{FFTn}{2}+1\right)}{2}$$ 잡음 전력 피크를 기준으로 5 FFT(±2 FFT)에 대해 노이즈화를 진행하는 것을 특징으로 한다.

[0032] 그리고 선형 내삽을 적용하여 피크를 제거하는 단계에서, 실제 기상 신호가 제거되면 안 되므로 연속성 기준을 저층 모드 기준 1/2, 1/4로 설정하고, 제거 후에도 피크 형태를 유지하기 위해 노이즈화가 아닌 선형 내삽 방법을

[0033] $$f(n)=\left(1-\frac{n-1}{P_5-P_1}\right)\times f(1)+\left(\frac{n-1}{P_5-P_1}\right)\times f(5)$$ 으로 적용하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0034] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치 및 방법은 다음과 같은 효과가 있다.

[0035] 첫째, 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼 자료를 이용하여 다중 전파 간섭이 발생했을 때 오염된 부분을 제거하고 기상 신호를 효율적으로 복원할 수 있도록 한다.

[0036] 둘째, 스펙트럼 폭 임계값을 통해 기상 신호와 비기상 신호를 구분하고, 구분된 신호들에 대해 각기 다른 임계값을 적용하여 고도별 연속성을 판별하는 것에 의해 전파 간섭 제거 및 기상 신호 피크 복원이 효율적으로 이루어질 수 있도록 한다.

[0037] 셋째, 비기상 신호로 판별된 피크에 대해 고도별 연속성을 확인하여 전파 간섭을 판별하여 전파 간섭으로 판별된 피크는 노이즈화를 통해 제거하고, 기상 신호로 판별된 피크들에 대해서도 임계값을 달리하여 연속성을 확인하고 전파 간섭을 판별하여 선형 내삽을 적용하여 피크를 제거하여 강인한 전파 간섭 제거가 가능하도록 한다.

[0038] 넷째, 다중 전파 간섭은 전파 간섭 제거 이후에도 전파 간섭이 다른 주파수에 존재하거나 중첩되어 있으므로 전파 간섭 피크를 제거한 후 새롭게 피크를 검색하여 스펙트럼 폭을 다시 산출하고, 전파 간섭이 검색되지 않을 때까지 검색 및 제거 과정을 계속해서 반복하여 기상 신호의 정확한 복원이 가능하도록 한다.

도면의 간단한 설명

[0039] 도 1은 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치의 구성도

도 2는 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 방법을 나타낸 플로우차트

도 3은 스펙트럼 폭 분포도

도 4는 스펙트럼 프로파일

도 5는 본 발명에 따른 노이즈화(잡음화) 및 선형 내삽 모식도

도 6은 (a) 다중 전파 간섭 제거 전 스펙트럼 프로파일, (b) 다중 전파 간섭 제거 후 스펙트럼 프로파일

도 7은 다중 전파 간섭 제거 전 수평 바람 벡터 시계열 프로파일

도 8은 다중 전파 간섭 제거 후 수평 바람 벡터 시계열 프로파일

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0040] 이하, 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치 및 방법의 바람직한 실시 예에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0041] 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치 및 방법의 특징 및 이점들은 이하에서의 각 실시 예에 대한 상세한 설명을 통해 명백해질 것이다.

[0042] 도 1은 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치의 구성도이다.

[0043] 본 개시에서 사용되는 용어는 본 개시에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 판례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 발명의 설명 부분에서 상세히 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 본 개시에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 개시의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.

[0044] 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 있음을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0045] 특히, 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위들은 적어도 하나의 프로세서로 구현될 수 있고, 기능이나 동작을 처리하는 방식에 따라 프로세서에 적어도 하나의 전자 장치가 연결될 수 있다. 전자 장치들은 데이터 입력 장치, 데이터 출력 장치, 데이터 저장 장치를 포함할 수 있다.

[0046] 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치 및 방법은 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼 자료를 이용하여 다중 전파 간섭이 발생했을 때 오염된 부분을 제거하고 기상 신호를 효율적으로 복원할 수 있도록 한 것이다.

[0047] 이를 위하여, 본 발명은 효율적인 전파 간섭 제거 및 기상 신호 피크 복원을 위하여 스펙트럼 폭 임계값을 통해

기상 신호와 비기상 신호를 구분하고, 구분된 신호들에 대해 각기 다른 임계값을 적용하여 고도별 연속성을 판별하는 구성을 포함할 수 있다.

[0048] 본 발명은 비기상 신호로 판별된 피크에 대해 고도별 연속성을 확인하여 전파 간섭을 판별하여 전파 간섭으로 판별된 피크는 노이즈화를 통해 제거하고, 기상 신호로 판별된 피크들에 대해서도 임계값을 달리하여 연속성을 확인하고 전파 간섭을 판별하여 선형 내삽을 적용하여 피크를 제거하여 강인한 전파 간섭 제거가 가능하도록 하는 구성을 포함할 수 있다.

[0049] 본 발명은 다중 전파 간섭은 전파 간섭 제거 이후에도 전파 간섭이 다른 주파수에 존재하거나 중첩되어 있으므로 전파 간섭 피크를 제거한 후 새롭게 피크를 검색하여 스펙트럼 폭을 다시 산출하고, 전파 간섭이 검색되지 않을 때까지 검색 및 제거 과정을 계속해서 반복하여 기상 신호의 정확한 복원이 가능하도록 하는 구성을 포함할 수 있다.

[0050] 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치는 도 1에서와 같이, 스펙트럼 폭 임계값을 통해 기상 신호와 비기상 신호를 구분하는 기상 신호 구분부(10)와, 비기상 신호로 판별된 피크에 대해 고도별 연속성을 확인하여 전파 간섭을 판별하는 전파 간섭 판별부(20)와, 전파 간섭으로 판별된 피크를 노이즈화를 통해 제거하는 전파 간섭 피크 제거부(30)와, 기상 신호로 판별된 피크들에 대해서도 임계값을 다르게 하여 연속성을 확인하고 전파 간섭을 판별하고 선형 내삽을 적용하여 전파 간섭으로 판별된 피크를 제거하는 선형 내삽 피크 제거부(40)와, 전파 간섭 피크 제거부(30) 및 선형 내삽 피크 제거부(40)를 통하여 전파 간섭 피크를 제거한 후 새롭게 피크를 검색하여 스펙트럼 폭을 다시 산출하고, 전파 간섭이 검색되지 않을 때까지 검색 및 제거 과정을 계속해서 반복하도록 하는 스펙트럼 폭 재산출부(50)를 포함한다.

[0051] 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거는 크게, 스펙트럼 폭 임계값을 통해 기상 신호와 비기상 신호를 구분하는 제 1 과정 및 기상 신호와 비기상 신호로 구분된 신호들에 대해 각기 다른 임계값을 적용하여 고도별 연속성을 판별하는 제 2 과정을 포함한다.

[0052] 도 2는 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 방법을 나타낸 플로우 차트이다.

[0053] 먼저, 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼이 입력되면 스펙트럼 폭 임계값을 통해 기상 신호와 비기상 신호를 구분한다.(S201)

[0054] 전파 간섭은 고도별로 연속적으로 나타나는 특징이 있어 제 1 과정에서 비기상 신호로 판별된 피크에 대해 고도별 연속성을 확인하여 전파 간섭을 판별한다.(S209)

[0055] 연속성 기준은 WMO에서 연직으로의 바람 벡터 연속성을 평가하는 기준인 3 gates를 바탕으로 성능을 테스트하였고, 최종적으로 4 gates로 설정하였다.

[0056] 전파 간섭으로 판별된 피크는 노이즈화를 통해 제거한다.(S210)

[0057] 그리고 연직빔과 경사빔을 구분하여(S202) 제 1 과정에서 스펙트럼 폭 임계값으로 판별하지 못한 비기상 신호가 존재할 수도 있으므로, 기상 신호로 판별된 피크들에 대해서도 임계값을 달리하여 연속성을 확인하고 전파 간섭을 판별한다.(S203)(S206)

[0058] 이 제 2 과정에서는 드물게 발생할 수 있는 기상 신호 제거에 의한 바람 산출 오류를 방지하기 위해 노이즈화 대신 선형 내삽을 적용하여 피크를 제거한다.(S204)(S207)

[0059] 필터링 검사에서 미처 걸러내지 못한 잡음이 있는 경우를 대비하기 위해 연직 빔의 경우 15 gates, 경사 빔의 경우 8 gates의 연속성 검사를 추가로 진행하고, 이는 기상 신호가 제거되는 것을 방지하기 위해 선형 내삽 방식으로 제거한다.

[0060] 다중 전파 간섭은 전파 간섭 제거 이후에도 전파 간섭이 다른 주파수에 존재하거나 중첩되어 있으므로, 위 과정들을 통해 전파 간섭 피크를 제거한 후 새롭게 피크를 검색하여 스펙트럼 폭을 다시 산출하고, 전파 간섭이 검색되지 않을 때까지 검색 및 제거 과정을 계속해서 반복한다.(S205)(S208)(S211)

[0061] 스펙트럼 폭은 주로 난류 강도를 추정하는데 사용하는 산출물로, 잡음과 기상 신호를 구분하는 통계적인 방법에도 많이 쓰이고 있다.

[0062] 본 발명의 일 실시 예에서 사용한 0.1 m/s의 임계값은 시험 운용 기간 중 1개월 동안 스펙트럼 폭 값을 분석한

결과, 잡음 신호의 스펙트럼 폭이 0.1 m/s 이하로 나타난 것을 확인하였고, 따라서 이를 임계값으로 사용하였다.

[0063] 도 3은 스펙트럼 폭 분포도이고, 도 4는 스펙트럼 프로파일이다.

[0064] 도 4는 0.1 m/s 임계값을 사용하여 나타낸 스펙트럼 프로파일로, 기상 신호(스펙트럼 폭 0.1 m/s 이상)일 경우 초록색으로 피크를 나타내었다.

[0065] 도 4에서 보면, 기상 지상부터 6 km 고도까지 기상신호(하늘색 상자)와 강수 신호(파란색 상자)가 초록색으로 나타난 것을 볼 수 있고, 6 km 이상 고도에서 잡음과 전파 간섭 신호는 아무런 표시가 되지 않은 것을 볼 수 있다.

[0066] 고도별 연속성을 판별하는 임계값은 WMO의 연직 윈드시어 검사 기준인 3 gate(본 장비 기준 300 m)에서 1 km 사이를 기준으로 정한 후 1개월의 테스트 과정을 거쳐 4 gate (저층 모드 기준 1/8)로 설정하였다.

[0067] 연속성 검사를 통해 전파 간섭으로 판별된 피크를 제거하는 방법으로는 노이즈화를 사용한다. 노이즈화는 Median 방법 또는 Hildebrand 방법으로 산출한 잡음 전력에 맞춰 피크를 잡음 전력으로 대체하는 방법이다.

[0068] 잡음 전력 피크를 기준으로 5 FFT (±2 FFT)에 대해 노이즈화를 진행한다.

수학식 1

[0069]
$$f(n)=\frac{S\left(\frac{FFTn}{2}\right)+S\left(\frac{FFTn}{2}+1\right)}{2}$$

[0070] 수학식 1은 잡음 신호, 즉 노이즈를 산출하는 수학식으로, 비기상 신호에서 전파 간섭으로 판별된 신호의 경우 남겨둘 필요가 없는 신호이므로 잡음 처리(노이즈화)를 하기 위해 사용한다.

[0071] FFTn은 스펙트럼의 FFT((Fast Fourier Transform)포인트 수이고, S는 스펙트럼의 크기를 의미한다.

[0072] 즉, S(FFTn/2)는 전체 FFT 점 수의 반에 위치하는 스펙트럼의 크기를 의미한다.

[0073] 예를 들어, FFTn = 100, S(50) = 50번째 스펙트럼의 크기. 전체 식은 스펙트럼의 중앙값(Median(S(FFTn))을 뜻한다.

[0074] 그리고 기상 신호로 판별한 피크에 대해 수행하는 고도 연속성 검사는 혹시 모를 문제로 인한 알고리즘의 성능 저하를 방지하기 위한 목적이다.

[0075] 단, 실제 기상 신호가 제거되면 안 되므로 연속성 기준을 저층 모드 기준 1/2, 1/4로 설정하였고, 제거 후에도 피크 형태를 어느 정도 유지하기 위해 노이즈화가 아닌 선형 내삽 방법을 사용한다.

수학식 2

[0076]
$$f(n)=\left(1-\frac{n-1}{P_5-P_1}\right)\times f(1)+\left(\frac{n-1}{P_5-P_1}\right)\times f(5)$$

[0077] 수학식 2는 클러터 제거에 많이 사용하는 선형 내삽 식이다.

[0078] 알려진 선형 내삽의 단점이 선형 내삽 후에도 어느 정도 신호가 남아있다는 것이다. 이를 이용하여 기상 신호에서 전파 간섭으로 판별된 신호에 대해 혹시나 잘못 판별했을수도 있기에, 선형 내삽으로 신호를 제거를 하여 어느 정도 신호를 유지시키기 위해 사용한다.

[0079] P는 포인트(점)을 의미하며, 피크(P3)를 중심으로 양 옆으로 2개의 포인트(P1, P2, P4, P5)를 이용하여 선형 내삽을 한다.

[0080] 도 5는 본 발명에 따른 노이즈화(잡음화) 및 선형 내삽 모식도이다.

[0081] 그리고 도 6은 (a)다중 전파 간섭 제거 전 스펙트럼 프로파일, (b)다중 전파 간섭 제거 후 스펙트럼 프로파일이다.

[0082] 도 6(a)에서 보라색 상자로 표시한 부분을 보면 약 -300 FFT와 400 FFT 부근에 고도별로 연속적인 전파 간섭 피크가 존재하는 것을 확인할 수 있다.

[0083] 본 발명을 통해 전파 간섭을 제거한 도 6(b)를 보면 보라색 상자로 표시했던 부분의 전파 간섭이 제거되고 기상 신호 피크가 복원된 것을 확인할 수 있다.

[0084] 도 7은 다중 전파 간섭 제거 전 수평 바람 벡터 시계열 프로파일이고, 도 8은 다중 전파 간섭 제거 후 수평 바람 벡터 시계열 프로파일이다.

[0085] 다중 전파 간섭이 발생했던 기간에 대해 본 발명을 적용하기 전과 후의 바람 벡터 시계열을 보면, 도 7에서와 같이, 적용 전에는 전파 간섭에 의해 오염되어 바람 벡터가 산출되지 않거나 고도별로 일정한 바람 벡터가 나타난다.

[0086] 반면 적용 후의 바람 벡터를 보면 도 8에서와 같이, 기상 신호가 복원되어 공백이었던 기간(9:45)에 바람 벡터가 나타났고, 바람 벡터가 고도별로 일정하게 나타났던 기간(11:44, 11:55)에도 이전 시간대와 유사한 바람 벡터가 나타나 기상 신호가 제대로 복원되었음을 알 수 있다.

[0087] 이상에서 설명한 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼에서 다중전파간섭 제거를 위한 장치 및 방법은 윈드프로파일러의 원시 스펙트럼 자료를 이용하여 다중 전파 간섭이 발생했을 때 오염된 부분을 제거하고 기상 신호를 효율적으로 복원할 수 있도록 한 것이다.

[0088] 본 발명은 스펙트럼 폭 임계값을 통해 기상 신호와 비기상 신호를 구분하고, 구분된 신호들에 대해 각기 다른 임계값을 적용하여 고도별 연속성을 판별하는 것에 의해 전파 간섭 제거 및 기상 신호 피크 복원이 효율적으로 이루어질 수 있도록 한다.

[0089] 이상에서의 설명에서와 같이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 본 발명이 구현되어 있음을 이해할 수 있을 것이다.

[0090] 그러므로 명시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 하고, 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구 범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

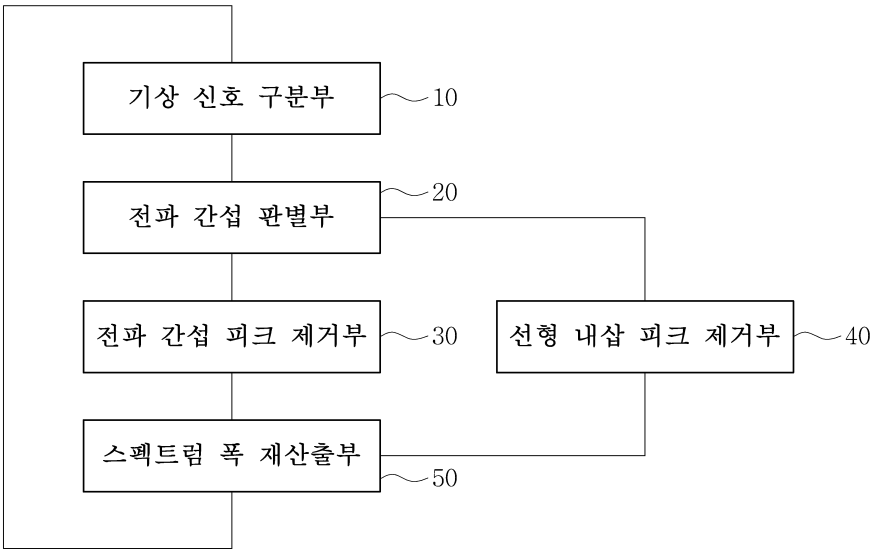
[0091] 10. 기상 신호 구분부 20. 전파 간섭 판별부

30. 전파 간섭 피크 제거부 40. 선형 내삽 피크 제거부

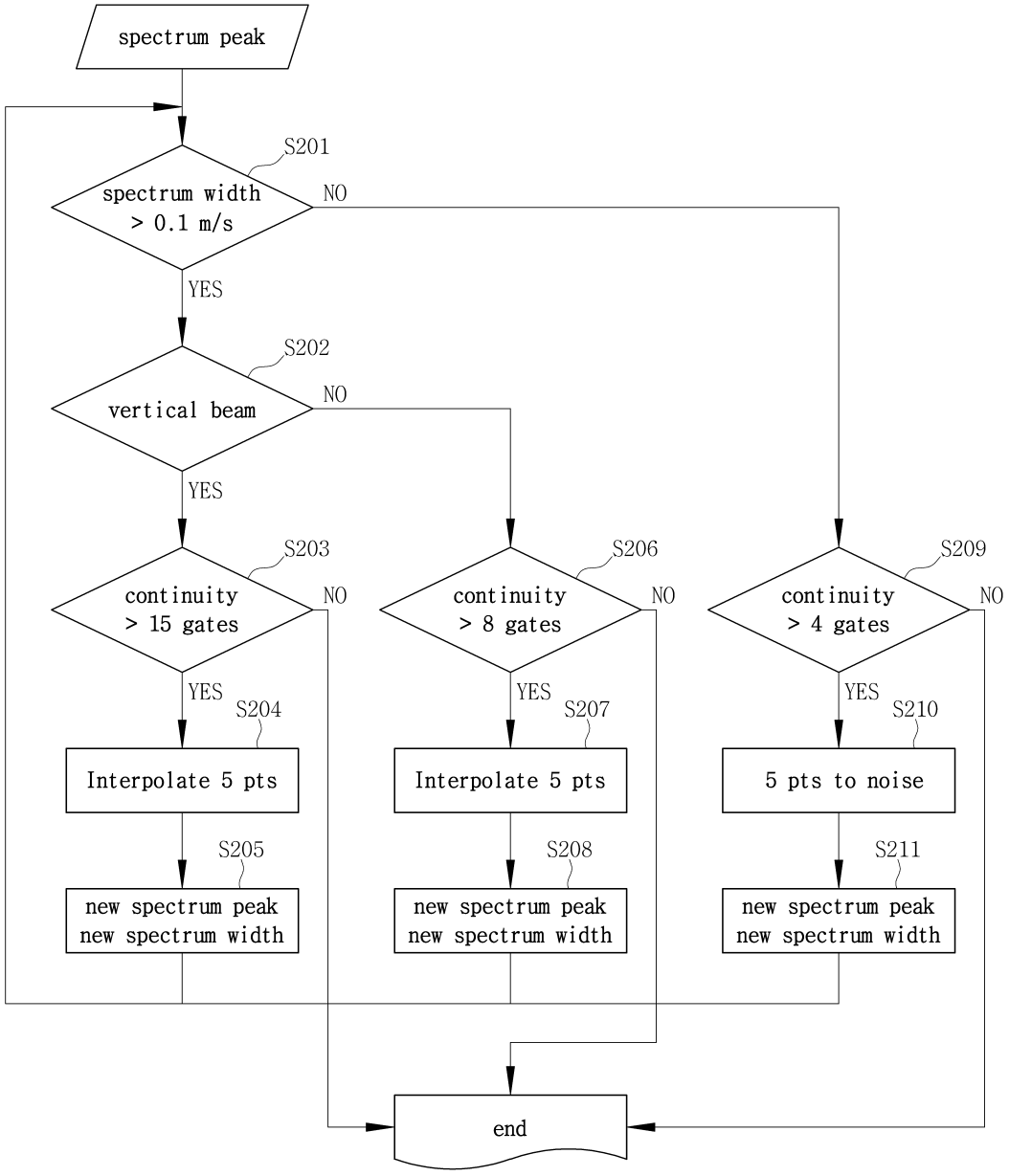
50. 스펙트럼 폭 재산출부

도면

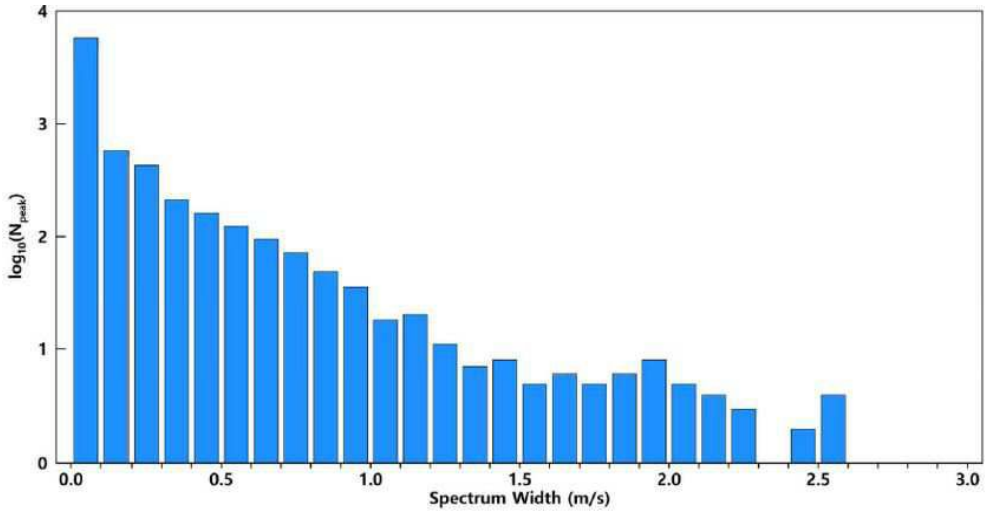
도면1


기상 신호 구분부
10
전파 간섭 판별부
20
전파 간섭 피크 제거부
30
선형 내삽 피크 제거부
40
스펙트럼 폭 재산출부
50

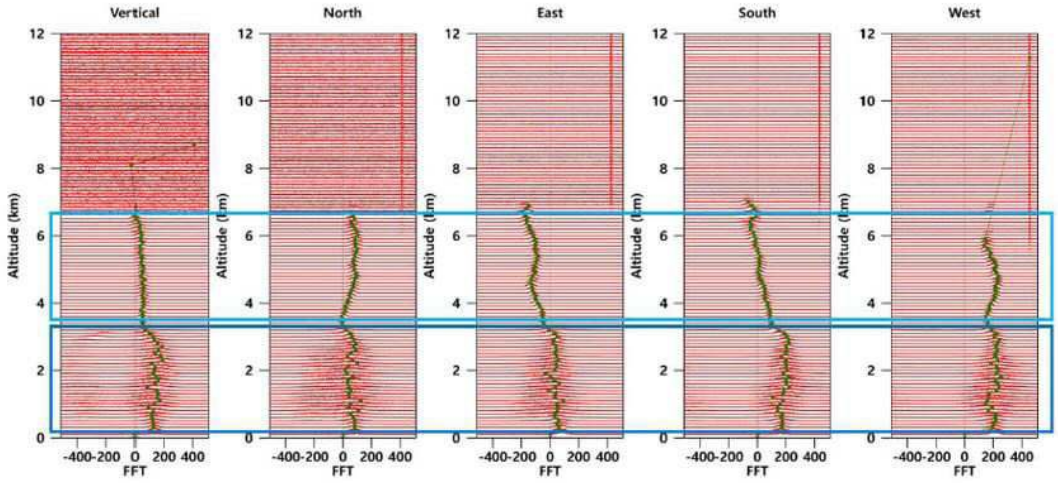
도면2


spectrum peak
S201
spectrum width
> 0.1 m/s
NO
YES
S202
vertical beam
NO
YES
S203
continuity
> 15 gates
NO
YES
S204
Interpolate 5 pts
S205
new spectrum peak
new spectrum width
S206
continuity
> 8 gates
NO
YES
S207
Interpolate 5 pts
S208
new spectrum peak
new spectrum width
S209
continuity
> 4 gates
NO
YES
S210
5 pts to noise
S211
new spectrum peak
new spectrum width
end

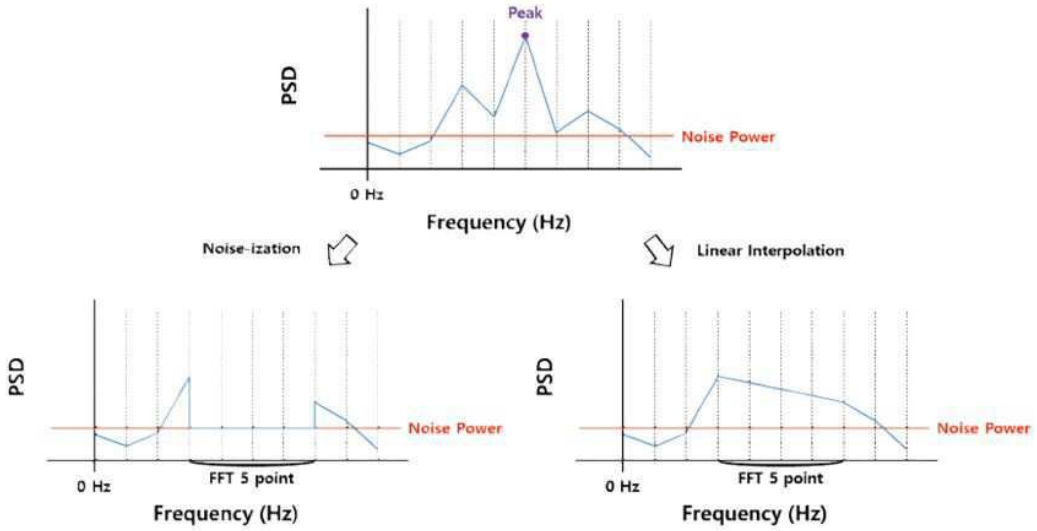
도면3


log10(Npeak)
Spectrum Width (m/s)

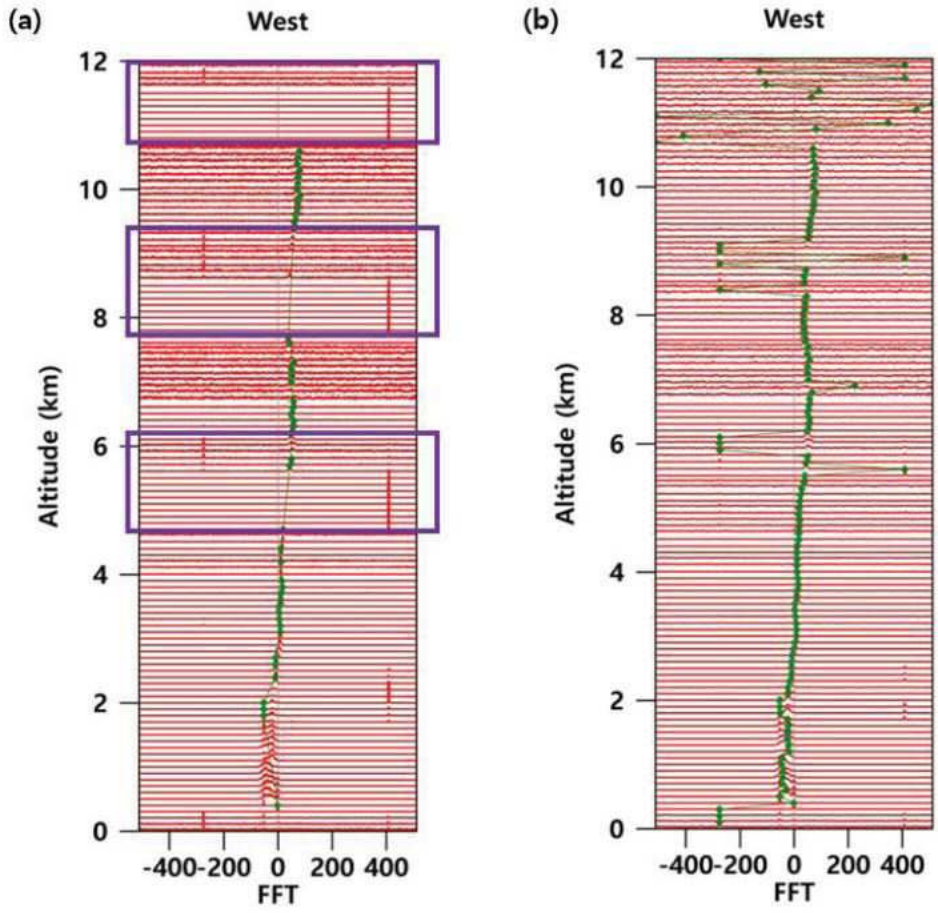
도면4


Vertical
North
East
South
West
Altitude (km)
FFT

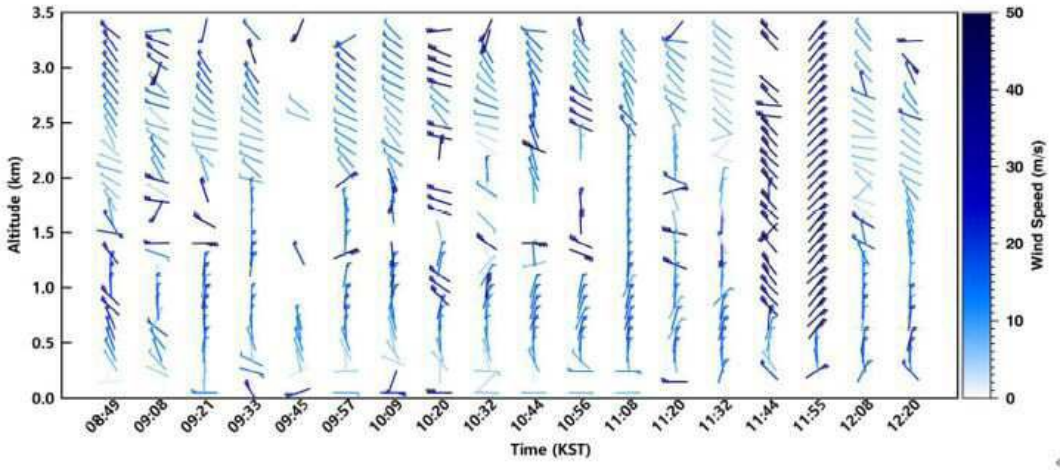
도면5


Peak
PSD
Noise Power
0 Hz
Frequency (Hz)
Noise-ization
Linear Interpolation
FFT 5 point

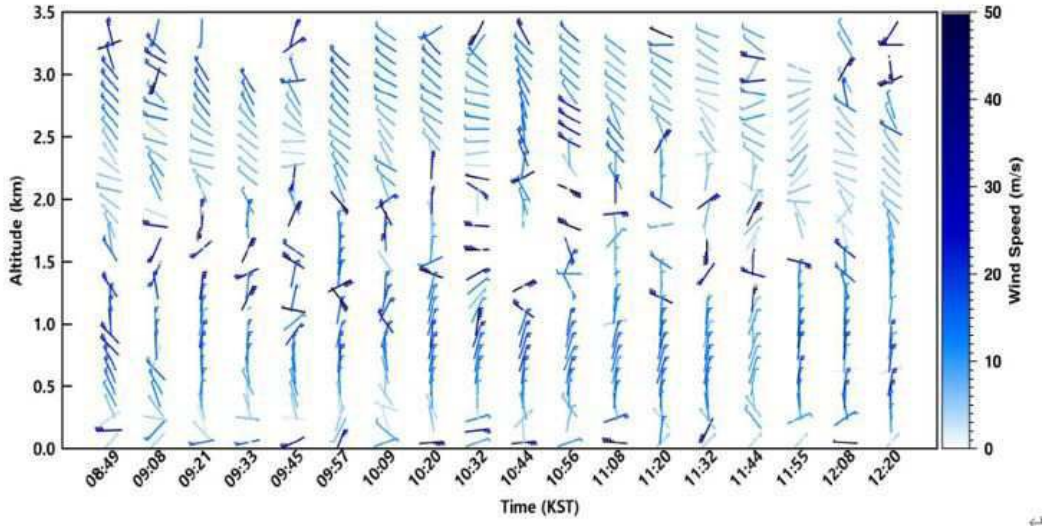
도면6


(a)
West
(b)
West
Altitude (km)
FFT
-400 -200 0 200 400
0 2 4 6 8 10 12

도면7


Altitude (km)
Time (KST)
Wind Speed (m/s)
0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5
0 10 20 30 40 50
08:45 09:08 09:21 09:33 09:45 09:57 10:09 10:20 10:32 10:44 10:56 11:08 11:20 11:32 11:44 11:55 12:08 12:20

도면8


Altitude (km)
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
08:49
09:08
09:21
09:33
09:45
09:57
10:09
10:20
10:32
10:44
10:56
11:08
11:20
11:32
11:44
11:55
12:08
12:20
Time (KST)
Wind Speed (m/s)
50
40
30
20
10
0