(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0085787
(43) 공개일자 2021년07월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01W 1/08 (2006.01) *G01P 13/02* (2006.01)
G01P 5/02 (2006.01) *G01W 1/18* (2006.01)
G06F 17/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01W 1/08 (2013.01)
G01P 13/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0179243
(22) 출원일자 2019년12월31일
심사청구일자 2019년12월31일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
권병혁
부산광역시 수영구 광안해변로15번길 68, 505동 1402호(남천동, 뉴비치)
조원기
부산광역시 남구 신정번영로45번길 15(대연동)
김상진
부산광역시 연제구 고분로 200, 120동 2102호(연산동, 연산엘지아파트)
(74) 대리인
오위환, 나성곤, 정기택

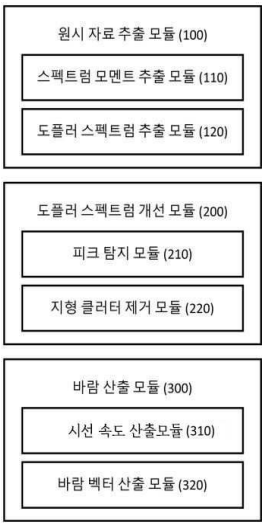
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법**

(57) 요 약

본 발명은 바람 산출 프로그램을 이용하지 않고, 윈드프로파일러의 도플러 스펙트럼으로부터 풍향 및 풍속 정보를 생성하는 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 윈드프로파일러의 원시 자료에서 스펙트럼 모멘트와 도플러 스펙트럼을 각각 추출하는 원시 자료 추출 모듈;도플러 스펙트럼의 피크를 탐지하고 지형 클러터에 의해 오염된 도플러 스펙트럼 신호를 제거하는 도플러 스펙트럼 개선 모듈;모멘트법을 이용하여 각 안테나에서 수집된 다량의 시선 속도에 컨센서스 알고리즘을 적용하여 관측 시간의 시선 속도를 결정하고 결정된 시선 속도를 이용하여 바람 벡터를 산출하는 바람 산출 모듈;을 포함하는 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01P 5/02 (2013.01)
G01W 1/18 (2013.01)
G06F 17/10 (2013.01)
G01W 2201/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1365002965
부처명	기상청
과제관리(전문)기관명	한국기상산업기술원
연구사업명	기상·지진See-At기술개발연구(R&D)
연구과제명	윈드프로파일러 원시자료 품질개선 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	부경대학교산학협력단
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

윈드프로파일러의 원시 자료에서 스펙트럼 모멘트와 도플러 스펙트럼을 각각 추출하는 원시 자료 추출 모듈;

도플러 스펙트럼의 피크를 탐지하고 지형 클러터에 의해 오염된 도플러 스펙트럼 신호를 제거하는 도플러 스펙트럼 개선 모듈;

모멘트법을 이용하여 각 안테나에서 수집된 다량의 시선 속도에 컨센서스 알고리즘을 적용하여 관측 시간의 시선 속도를 결정하고 결정된 시선 속도를 이용하여 바람 벡터를 산출하는 바람 산출 모듈;을 포함하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 도플러 스펙트럼 개선 모듈은,

도플러 스펙트럼의 크기를 비교하여 스펙트럼 모멘트 산출에 사용될 피크를 탐지하는 피크 탐지 모듈과,

지형지물에 의해 시선 속도 0m/s를 기준으로한 일정 범위에 나타나는 도플러 스펙트럼을 제거하고 제거된 부분을 재생성하는 지형 클러터 제거 모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 피크 탐지 모듈은,

도플러 스펙트럼에서 바람 산출에 사용할 최적의 피크를 결정하기 위하여 피크 탐지 알고리즘을 활용하여 세 개의 최적의 피크 후보군을 만들고,

각각 첫번째, 두번째, 세번째 피크 지수($\mathbf{F_Index}, \mathbf{S_Index}, \mathbf{T_Index}$)인 경우에, $\mathbf{F_Index}$ 의 도플러 스펙트럼과 잡음의 접점을 의미하는 $\mathbf{R_{11}}, \mathbf{R_{12}}$, $\mathbf{S_Index}$ 의 도플러 스펙트럼과 잡음의 접점을 의미하는 $\mathbf{R_{21}}, \mathbf{R_{22}}$ 을 이용하여, 탐지된 피크의 개수 N이 3이 될 때까지 스펙트럼 모멘트 산출에 사용될 피크를 탐지하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템.

청구항 4

제 2 항에 있어서, 지형 클러터 제거 모듈은 DC line의 주파수가 0 Hz인 신호이거나, 평균 시선 속도가 0 ~ 1m/s 사이에 나타나는 도플러 스펙트럼을 제거하고 주변에 인접한 2개의 도플러 스펙트럼을 이용하여 제거된 신호를 보간하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템.

청구항 5

윈드프로파일러의 원시 자료에서 스펙트럼 모멘트와 도플러 스펙트럼을 각각 추출하는 원시 자료 추출 단계;

도플러 스펙트럼의 피크를 탐지하고 지형 클러터에 의해 오염된 도플러 스펙트럼 신호를 제거하는 도플러 스펙트럼 개선 단계;

모멘트법을 이용하여 각 안테나에서 수집된 다량의 시선 속도에 컨센서스 알고리즘을 적용하여 관측 시간의 시선 속도를 결정하고 결정된 시선 속도를 이용하여 바람 벡터를 산출하는 바람 산출 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서, 상기 도플러 스펙트럼 개선 단계는,

도플러 스펙트럼의 크기를 비교하여 스펙트럼 모멘트 산출에 사용될 피크를 탐지하는 피크 탐지 단계와,

지형지물에 의해 시선 속도 0m/s를 기준으로한 일정 범위에 나타나는 도플러 스펙트럼을 제거하고 제거된 부분을 재생성하는 지형 클러터 제거 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서, 지형 클러터 제거 단계는,

DC line의 주파수가 0 Hz인 신호이거나, 평균 시선 속도가 0 ~ 1m/s 사이에 나타나는 도플러 스펙트럼을 제거하고 주변에 인접한 2개의 도플러 스펙트럼을 이용하여 제거된 신호를 보간하는 것을 특징으로 하는 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 바람 벡터 산출 시스템에 관한 것으로, 구체적으로 바람 산출 프로그램을 이용하지 않고, 윈드프로파일러의 도플러 스펙트럼으로부터 풍향 및 풍속 정보를 생성하는 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 윈드프로파일러는 대기에서 바람 벡터의 방향과 크기를 관측하기 위해 사용되는 고층 기상 관측 장비이다. 수 분의 시간 해상도와 수 십 미터의 공간 해상도로 바람의 연직 구조를 관측할 수 있다. 기상 예측 모델 및 수치 모델의 기초 자료로 활용되고 있다.

[0003] 윈드프로파일러는 안테나에서 전파를 대기로 방사하고 대기산란체에 산란되어 돌아오는 신호를 수신하여 대기를 관측한다. 안테나에서 수신된 신호는 아날로그 신호이고 아날로그-디지털 변환기(analog to digital converter)를 거쳐 시계열의 디지털 신호(IQ 데이터)로 변환된다. 시간 영역의 IQ 데이터는 레이더 신호처리기에서 주파수 영역의 신호로 변환된다. 이 신호를 도플러 스펙트럼이라 한다.

[0004] 생성된 도플러 스펙트럼을 활용하여 스펙트럼 모멘트를 결정하고 스펙트럼 모멘트를 사용하여 바람 벡터를 산출한다.

[0005] 윈드프로파일러 자료는 지형 클러터, 전파 간섭 및 복합 에코와 같은 여러 비기상신호에 의해 오염되기 때문에 도플러 스펙트럼에서 오염 원인을 제거 및 개선하여야 한다.

[0006] 한반도는 산악지형으로 이루어져 있고, 높은 구조물 및 건물들이 밀집되어 있다. 이와 같은 특징으로 발생하는 원시 자료의 오류는 바람 벡터를 산출하지 못하거나 부정확한 바람 벡터를 산출하기 때문에 도플러 스펙트럼을 개선하여 정확한 바람 정보를 수집할 필요가 있다.

[0007] 윈드프로파일러의 원시 자료는 저장 효율을 높이기 위하여 여러 단계의 인코딩된 상태로 저장되어 있다.

[0008] 현업에 운용 중인 윈드프로파일러에서 관측 오류가 발생하기 때문에 원시 자료의 정확한 디코딩을 통하여 추출한 도플러 스펙트럼의 개선을 통하여 정확한 스펙트럼 모멘트와 바람 벡터를 산출하는 시스템이 구축되어야 한다.

[0009] 그러나 이와 같은 종래 기술의 디코딩을 통하여 추출한 도플러 스펙트럼의 개선에는 한계가 있어 윈드프로파일러의 관측 오류를 줄여 정확한 바람 정보를 수집하는 것이 어렵다.

[0010] 따라서, 윈드프로파일러 원시 자료 자체를 이용하여 정확한 풍향 및 풍속 정보를 생성하는 기술의 개발이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1892502호

(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 제10-2017-0104099호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명은 종래 기술의 바람 벡터 산출 시스템의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 바람 산출 프로그램을 이용하지 않고, 윈드프로파일러의 도플러 스펙트럼으로부터 풍향 및 풍속 정보를 생성하는 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0013] 본 발명은 윈드프로파일러 원시 자료 자체를 이용하여 정확한 풍향 및 풍속 정보를 생성하여 윈드프로파일러의 관측 오류를 줄일 수 있도록 한 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0014] 본 발명은 윈드프로파일러의 원시 자료에서 도플러 스펙트럼 추출을 하고, 지형에 따른 기상 신호 묻힘 현상을 제거하고 도플러 스펙트럼의 피크를 탐지하는 것에 의해 정확한 바람 정보 획득이 가능하도록 한 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0015] 본 발명은 윈드프로파일러의 원시 자료의 구성과 포맷을 파악하고, 제조사 특유의 방법으로 인코딩된 자료를 디코딩하여 스펙트럼 모멘트와 도플러 스펙트럼을 추출 및 저장하는 것에 의해 관측 정확도 및 자료 수집률을 개선할 수 있도록 한 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0016] 본 발명은 윈드프로파일러 원시 자료 자체를 이용하여 비기상 신호가 제거되고 명확한 피크를 가지는 도플러 스펙트럼을 사용하고, 윈드프로파일러 관측 자료가 올바르게 활용될 수 있도록 한 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0017] 본 발명은 윈드프로파일러의 원시 자료를 이용하여 제조사 소프트웨어에서 제공되는 풍향 및 풍속 정보와 다른 개선된 자료를 생성하여 도플러 스펙트럼을 이용하여 재산출된 바람 정보의 정확도 분석이 수행됨으로 자료의 신뢰성을 높일 수 있도록 한 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0018] 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

[0019] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템은 윈드프로파일러의 원시 자료에서 스펙트럼 모멘트와 도플러 스펙트럼을 각각 추출하는 원시 자료 추출 모듈;도플러 스펙트럼의 피크를 탐지하고 지형 클러터에 의해 오염된 도플러 스펙트럼 신호를 제거하는 도플러 스펙트럼 개선 모듈;모멘트법을 이용하여 각 안테나에서 수집된 다량의 시선 속도에 컨센서스 알고리즘을 적용하여 관측 시간의 시선 속도를 결정하고 결정된 시선 속도를 이용하여 바람 벡터를 산출하는 바람 산출 모듈;을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0020] 여기서, 상기 도플러 스펙트럼 개선 모듈은, 도플러 스펙트럼의 크기를 비교하여 스펙트럼 모멘트 산출에 사용될 피크를 탐지하는 피크 탐지 모듈과, 지형지물에 의해 시선 속도 0m/s를 기준으로한 일정 범위에 나타나는 도플러 스펙트럼을 제거하고 제거된 부분을 재생성하는 지형 클러터 제거 모듈을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0021] 그리고 상기 피크 탐지 모듈은, 도플러 스펙트럼에서 바람 산출에 사용할 최적의 피크를 결정하기 위하여 피크 탐지 알고리즘을 활용하여 세 개의 최적의 피크 후보군을 만들고, 각각 첫번째, 두번째, 세번째 피크 지수($\mathbf{F_Index}, \mathbf{S_Index}, \mathbf{T_Index}$)인 경우에, $\mathbf{F_Index}$의 도플러 스펙트럼과 잡음의 접점을 의미하는 $\mathbf{R_{11}}, \mathbf{R_{12}}$, $\mathbf{S_Index}$의 도플러 스펙트럼과 잡음의 접점을 의미하는 $\mathbf{R_{21}}, \mathbf{R_{22}}$을 이용하여, 탐지된 피크의 개수 N이 3이 될 때까지 스펙트럼 모멘트 산출에 사용될 피크를 탐지하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 그리고 지형 클러터 제거 모듈은 DC line의 주파수가 0 Hz인 신호이거나, 평균 시선 속도가 0 ~ 1m/s 사이에 나타나는 도플러 스펙트럼을 제거하고 주변에 인접한 2개의 도플러 스펙트럼을 이용하여 제거된 신호를 보간하는 것을 특징으로 한다.

[0023] 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 방법은 윈드프로파일러의 원시 자료에서 스펙트럼 모멘트와 도플러 스펙트럼을 각각 추출하는 원시 자료 추출 단계; 도플러 스펙트럼의 피크를 탐지하고 지형 클러터에 의해 오염된 도플러 스펙트럼 신호를 제거하는 도플러 스펙트럼 개선 단계; 모멘트법을 이용하여 각 안테나에서 수집된 다량의 시선 속도에 컨센서스 알고리즘을 적용하여 관측 시간의 시선 속도를 결정하고 결정된 시선 속도를 이용하여 바람 벡터를 산출하는 바람 산출 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0024] 여기서, 상기 도플러 스펙트럼 개선 단계는, 도플러 스펙트럼의 크기를 비교하여 스펙트럼 모멘트 산출에 사용될 피크를 탐지하는 피크 탐지 단계와, 지형지물에 의해 시선 속도 0m/s를 기준으로한 일정 범위에 나타나는 도플러 스펙트럼을 제거하고 제거된 부분을 재생성하는 지형 클러터 제거 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0025] 그리고 지형 클러터 제거 단계는, DC line의 주파수가 0 Hz인 신호이거나, 평균 시선 속도가 0 ~ 1m/s 사이에 나타나는 도플러 스펙트럼을 제거하고 주변에 인접한 2개의 도플러 스펙트럼을 이용하여 제거된 신호를 보간하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0026] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명에 따른 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법은 다음과 같은 효과가 있다.

[0027] 첫째, 바람 산출 프로그램을 이용하지 않고, 윈드프로파일러의 도플러 스펙트럼으로부터 정확한 풍향 및 풍속 정보를 생성할 수 있도록 한다.

[0028] 둘째, 윈드프로파일러 원시 자료 자체를 이용하여 정확한 풍향 및 풍속 정보를 생성할 수 있도록 한다.

[0029] 셋째, 윈드프로파일러의 원시 자료에서 도플러 스펙트럼 추출을 하고, 지형에 따른 기상 신호 묻힘 현상을 제거하고 도플러 스펙트럼의 피크를 탐지하는 것에 의해 정확한 바람 정보 획득이 가능하도록 한다.

[0030] 넷째, 윈드프로파일러의 원시 자료의 구성과 포맷을 파악하고, 제조사 특유의 방법으로 인코딩된 자료를 디코딩하여 스펙트럼 모멘트와 도플러 스펙트럼을 추출 및 저장하는 것에 의해 관측 정확도 및 자료 수집률을 개선할 수 있도록 한다.

[0031] 다섯째, 윈드프로파일러 원시 자료 자체를 이용하여 비기상 신호가 제거되고 명확한 피크를 가지는 도플러 스펙트럼을 사용하고, 윈드프로파일러 관측 자료가 올바르게 활용될 수 있도록 한다.

[0032] 여섯째, 윈드프로파일러의 원시 자료를 이용하여 제조사 소프트웨어에서 제공되는 풍향 및 풍속 정보와 다른 개선된 자료를 생성하여 도플러 스펙트럼을 이용하여 재산출된 바람 정보의 정확도 분석이 수행됨으로 자료의 신뢰성을 높일 수 있도록 한다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 자료를 이용한 바람 산출 시스템의 구성도

도 2는 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 자료를 이용한 바람 산출 방법을 나타낸 플로우 차트

도 3은 윈드프로파일러 원시 자료의 구성도

도 4는 도플러 스펙트럼의 기본 형태와 스펙트럼 모멘트

도 5는 도플러 스펙트럼의 피크 탐지 알고리즘의 모식도

도 6은 피크 탐지 알고리즘을 통해 탐지된 도플러 스펙트럼의 피크

도 7은 컨센서스 알고리즘

도 8은 도플러 스펙트럼 개선 전의 도플러 스펙트럼 피크 분포도

도 9는 도플러 스펙트럼 개선 후의 도플러 스펙트럼 피크 분포도

도 10은 도플러 스펙트럼 개선 전/후 윈드프로파일러의 바람 벡터 수집률 비교도

도 11은 도플러 스펙트럼 개선 전/후 윈드프로파일러와 라디오존데의 RMSE 비교도

도 12는 도플러 스펙트럼 개선 전/후 윈드프로파일러와 라디오존데의 바람 벡터 분포도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 이하, 본 발명에 따른 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법의 바람직한 실시 예에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0035] 본 발명에 따른 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법의 특징 및 이점들은 이하에서의 각 실시 예에 대한 상세한 설명을 통해 명백해질 것이다.

[0036] 도 1은 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 자료를 이용한 바람 산출 시스템의 구성도이다.

[0037] 본 발명에 따른 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법은 바람 산출 프로그램을 이용하지 않고, 윈드프로파일러의 도플러 스펙트럼으로부터 풍향 및 풍속 정보를 생성할 수 있도록 한 것이다.

[0038] 이를 위하여 본 발명은 윈드프로파일러 원시 자료 자체를 이용하여 정확한 풍향 및 풍속 정보를 생성할 수 있도록 하는 구성을 포함할 수 있다.

[0039] 본 발명은 윈드프로파일러의 원시 자료에서 도플러 스펙트럼 추출을 하고, 지형에 따른 기상 신호 묻힘 현상을 제거하고 도플러 스펙트럼의 피크를 탐지하는 구성을 포함할 수 있다.

[0040] 본 발명은 윈드프로파일러의 원시 자료의 구성과 포맷을 파악하고, 제조사 특유의 방법으로 인코딩된 자료를 디코딩하여 스펙트럼 모멘트와 도플러 스펙트럼을 추출 및 저장하는 구성을 포함할 수 있다.

[0041] 이하의 설명에서 본 발명에 따른 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법을 설명하기 위하여, 윈드프로파일러 PCL1300 모델의 원시 자료를 사용하는 것을 일 예로 하고, 이로 한정되지는 않는다.

[0042] 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 자료를 이용한 바람 산출 시스템은 도 1에서와 같이, 윈드프로파일러의 원시 자료에서 스펙트럼 모멘트와 도플러 스펙트럼을 각각 추출하는 원시 자료 추출 모듈(100)과, 도플러 스펙트럼의 피크를 탐지하고 지형 클러터에 의해 오염된 도플러 스펙트럼 신호를 제거하는 도플러 스펙트럼 개선 모듈(200)과, 모멘트법을 이용하여 각 안테나에서 수집된 다량의 시선 속도에 컨센서스 알고리즘을 적용하여 관측 시간의 시선 속도를 결정하고 결정된 시선 속도를 이용하여 바람 벡터를 산출하는 바람 산출 모듈(300)을 포함한다.

[0043] 여기서, 원시 자료 추출 모듈(100)은 원시자료에서 수신 전력, 시선 속도, 스펙트럼 폭, 신호대잡음비, 스펙트럼 비대칭도, 잡음 전력을 추출하는 스펙트럼 모멘트 추출 모듈(110)과, 도플러 스펙트럼을 추출하는 도플러 스펙트럼 추출 모듈(120)을 포함한다.

[0044] 그리고 도플러 스펙트럼 개선 모듈(200)은 도플러 스펙트럼의 크기를 비교하여 스펙트럼 모멘트 산출에 사용될 피크를 탐지하는 피크 탐지 모듈(210)과, 지형지물에 의해 시선 속도 0m/s를 기준으로한 일정 범위에 나타나는 도플러 스펙트럼을 제거하고 제거된 부분을 재생성하는 지형 클러터 제거 모듈(220)을 포함한다.

[0045] 그리고 바람 산출 모듈(300)은 도플러 스펙트럼에서 결정된 피크에서 모멘트법을 이용하여 스펙트럼 모멘트(수신 전력, 시선 속도, 스펙트럼 폭)를 산출하고 30분 동안 각 안테나별로 산출된 시선 속도에 컨센서스 알고리즘을 적용하여 관측 시간에 해당하는 시선 속도를 결정하는 시선 속도 결정 모듈(310)과, 시선 속도 결정 모듈(310)에서 최종 결정된 시선 속도를 사용하여 바람 벡터를 산출하는 바람 벡터 산출 모듈(320)을 포함한다.

[0046] 이와 같은 구성을 갖는 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 원시 자료를 이용한 바람 벡터 산출 시스템에서, 원시 자료 추출 모듈(100)은 스펙트럼 모멘트 추출 모듈(110)과 도플러 스펙트럼 추출 모듈(120)을 포함하고, 윈드프로파일러의 원시 자료의 구성과 포맷을 파악하고, 제조사 특유의 방법으로 인코딩된 자료를 디코딩하여 스펙트럼 모멘트와 도플러 스펙트럼을 추출 및 저장한다.

[0047] 도 3은 윈드프로파일러 원시 자료의 포맷이며, 헤더, 스펙트럼 모멘트, 도플러 스펙트럼으로 구성되는 것을 나타낸 것이다.

[0048] 스펙트럼 모멘트 추출 모듈(110)은 바이너리 배열에 2byte의 이진수를 추가하여 디코딩 한 후, 바이너리 파일 형태의 1차 가공 자료를 생성하고, 1차 가공 자료를 IEEE 754 실수 변환 기법을 사용하여 스펙트럼 모멘트를 추출한다.

[0049] 스펙트럼 모멘트에는 각각 1, 2, 3차 피크에 해당하는 수신 전력, 시선 속도, 신호대잡음비, 그리고 스펙트럼 폭과 잡음 전력이 13×71 배열로 저장되도록 한다.

[0050] 도플러 스펙트럼 추출 모듈(120)은 바이너리 배열에 2byte의 이진수를 추가하여 디코딩 한 후, 바이너리 파일 형태의 1차 가공 자료를 생성하고, 1차 가공 자료를 IEEE 754 실수 변환 기법을 사용하여 도플러 스펙트럼을 추출한다. 도플러 스펙트럼은 128×71 배열로 저장되도록 한다.

[0051] 도 4는 도플러 스펙트럼의 기본 형태와 스펙트럼 모멘트를 나타낸 것이다.

[0052] 진한 검은 실선이 도플러 스펙트럼이고, 가로 점선은 잡음 전력, 세로 실선은 DC line을 나타낸다.

[0053] 도플러 스펙트럼 개선 모듈(200)은 피크 탐지 모듈(210)과 지형 클러터 제거 모듈(220)을 포함하고, 도플러 스펙트럼의 신호를 개선하여 최적의 피크를 결정한다.

[0054] 피크 탐지 모듈(210)은 도플러 스펙트럼에서 바람 산출에 사용할 최적의 피크를 결정하기 위하여 도 5와 같이 피크 탐지 알고리즘을 활용하여 세 개의 최적의 피크 후보군을 만든다. 도 5는 피크 탐지 알고리즘의 모식도이다.

[0055] $\mathbf{F_Index}, \mathbf{S_Index}, \mathbf{T_Index}$는 각각 첫번째, 두번째, 세번째 피크 지수를 의미한다.

[0056] $\mathbf{R_{11}}, \mathbf{R_{12}}$는 $\mathbf{F_Index}$의 도플러 스펙트럼과 잡음의 접점을 의미하고, $\mathbf{R_{21}}, \mathbf{R_{22}}$는 $\mathbf{S_Index}$의 도플러 스펙트럼과 잡음의 접점을 의미한다.

[0057] N은 탐지된 피크의 개수를 의미하고, N이 3이 될 때까지 피크를 탐지한다.

[0058] 도 6은 피크 탐지 알고리즘을 통해 탐지된 도플러 스펙트럼의 피크를 나타낸 것이다.

[0059] 먼저, 크기가 가장 큰 첫 번째 피크(1st)를 찾는다.

[0060] 첫 번째 피크의 도플러 스펙트럼과 잡음 전력의 접점 밖에서 가장 큰 두 번째 피크(2nd)를 찾는다.

[0061] 두 번째 피크의 도플러 스펙트럼과 잡음 전력의 접점 밖에서 가장 큰 세 번째 피크(3rd)를 찾는다.

[0062] 지형 클러터 제거 모듈(220)은 DC line의 주파수가 0 Hz인 신호이거나, 평균 시선 속도가 0 ~ 1m/s 사이에 나타나는 도플러 스펙트럼을 제거하고 주변에 인접한 2개의 도플러 스펙트럼을 이용하여 제거된 신호를 보간한다.

[0063] 바람 산출 모듈(300)은 시선 속도 산출 모듈(310)과 바람 벡터 산출 모듈(320)을 포함하고, 관측 시각에 대한 최적의 시선 속도를 결정하고 동서 바람 성분, 남북 바람 성분, 연직 바람 성분에 해당하는 바람 벡터를 산출하고 검증하는 것이다.

[0064] 시선 속도 산출 모듈(310)은 결정된 도플러 스펙트럼의 피크를 기준으로 모멘트법을 사용하여 수신 전력($\mathbf{P}_r$), 시선 속도($\mathbf{V}_r$), 스펙트럼 폭($\mathbf{W}$)을 산출한다.

[0065] $\mathbf{v}$는 주파수에 대응하는 시선 속도이고 $\mathbf{v}_m$는 $\mathbf{v}$의 가중치로, 주파수에 대응하는 시선 속도의 평균이다.

수학식 1

[0066] $$P_r = \int S(v)dv$$

수학식 2

[0067] $$V_r = \int v_m S(v)/P_r dv$$

수학식 3

[0068] $$W = 2\int (v - v_m)^2 S(v)/P_r dv$$

[0069] 도 7과 같이 컨센서스 알고리즘을 활용하여 시선 속도를 결정한다.

[0070] 컨센서스 알고리즘은 주어진 측정값에 대하여 가장 적절한 시선 속도를 계산하는 것이다. 신호대잡음비가 임계값 이상인 시선 속도들 중에서 특정 폭의 슬라이딩 윈도우를 주어진 측정값에 적용한다.

[0071] 윈도우 범위 내 측정값의 수가 최대인 곳에서 윈도우 내에 존재하는 측정값을 평균하여 시선 속도의 대표값을 결정한다.

[0072] 바람 벡터 산출 모듈(320)은 시선 속도 산출 모듈(310)에서 최종 결정된 안테나별 시선 속도를 사용하여 바람 벡터를 산출한다.

[0073] u,v,w는 각각 동서 바람 성분, 남북 바람 성분, 연직 바람 성분을 의미한다.

[0074] V_x, V_y, V_z는 각각 동서 방향 시선 속도, 남북 방향 시선 속도, 연직 방향 시선 속도를 의미한다.

[0075] θ_x, θ_y는 각각 동서 방향의 안테나 경사각, 남북 방향의 안테나 경사각을 의미한다.

[0076] ϕ_x, ϕ_y는 각각 동서 방향의 안테나 방위각, 남북 방향의 안테나 방위각을 의미한다.

수학식 4

$$u = \left[-\left(\frac{V_x - V_z \sin\theta_x}{\cos\theta_x}\right)\sin\phi_x\right] + \left[-\left(\frac{V_y - V_z \sin\theta_y}{\cos\theta_y}\right)\sin\phi_y\right]$$

$$v = \left[-\left(\frac{V_x - V_z \sin\theta_x}{\cos\theta_x}\right)\cos\phi_x\right] + \left[-\left(\frac{V_y - V_z \sin\theta_y}{\cos\theta_y}\right)\cos\phi_y\right]$$

[0077] $$w = -V_z$$

[0078] 이러한 과정을 통해 산출된 바람 벡터는 라디오존데의 바람 벡터를 표준으로 검증된다.

[0079] 도 2는 본 발명에 따른, 윈드프로파일러의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 방법의 순서도이다.

[0080] 본 발명에 따른 윈드프로파일러의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 방법은, 도 2에서와 같이, 윈드프로파일러의 원시 자료에서 도플러 스펙트럼 추출하는 원시 자료 추출 단계(S1)와, 지형에 따른 기상 신호 묻힘 현상을 제거하고 도플러 스펙트럼의 피크를 탐지하는 도플러 스펙트럼 개선 단계(S2)와, 도플러 스펙트럼으로부터 스펙트럼 모멘트를 산출하고 각 안테나에서 바람을 산출하는 데 사용할 시선 속도를 결정하는 시선 속도 결정 및 바람 벡터를 산출하는 바람 벡터 산출 단계(S3)를 포함한다.

[0081] 원시 자료 추출 단계(S1)는 스펙트럼 모멘트 추출 단계(S1-1)와 도플러 스펙트럼 추출 단계(S1-2)를 포함한다.

[0082] 스펙트럼 모멘트 추출 단계(S1-1)는 바이너리 배열에 2byte의 이진수를 추가하여 디코딩 한 후, 바이너리 파일

형태의 1차 가공 자료를 생성하고, 1차 가공 자료를 IEEE 754 실수 변환 기법을 사용하여 스펙트럼 모멘트를 추출한다.

[0083] 도플러 스펙트럼 추출 단계(S1-2)는 바이너리 배열에 2byte의 이진수를 추가하여 디코딩 한 후, 바이너리 파일 형태의 1차 가공 자료를 생성하고, 1차 가공 자료를 IEEE 754 실수 변환 기법을 사용하여 도플러 스펙트럼을 추출한다.

[0084] 도플러 스펙트럼 개선 단계(S2)는 피크 탐지 단계(S2-1)와 지형 클러터 제거 단계(S2-2)를 포함한다.

[0085] 피크 탐지 단계(S2-1)는 도플러 스펙트럼에서 바람 산출에 사용할 최적의 피크를 결정하기 위하여 도 5와 같이 피크 탐지 알고리즘을 활용하여 세 개의 최적의 피크 후보군을 만든다.

[0086] 지형 클러터 제거 단계(S2-2)는 DC line의 주파수가 0 Hz인 신호이거나, 평균 시선 속도가 0 ~ 1m/s 사이에 나타나는 도플러 스펙트럼을 제거하고 주변에 인접한 2개의 도플러 스펙트럼을 이용하여 제거된 신호를 보간한다.

[0087] 바람 산출 단계(S3)는 시선 속도 산출 단계(S3-1)와 바람 벡터 산출 단계(S3-2)을 포함한다.

[0088] 시선 속도 산출 단계(S3-1)는 결정된 도플러 스펙트럼의 피크를 기준으로 모멘트법을 사용하여 수신 전력($\mathbf{P}_r$), 시선 속도($\mathbf{V}_r$), 스펙트럼 폭($\mathbf{W}$)을 산출한다.

[0089] 바람 벡터 산출 단계(S3-2)는 시선 속도 산출 단계(S3-1)에서 최종 결정된 안테나별 시선 속도를 사용하여 바람 벡터를 산출한다.

[0090] 이상에서 설명한 본 발명에 따른 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법의 검증을 위해, 강원지방기상청에 설치된 프랑스 Degreane 사의 UHF 윈드프로파일러(PCL1300)의 관측 자료를 이용하였다.

[0091] 도플러 스펙트럼을 개선하여 산출된 바람 벡터 자료의 비교 및 검증을 위해 강원지방기상청에서 라디오존데를 14회 비양하였다.

[0092] 또한, 라디오존데 자료는 독일 GRAW 사의 DEM-06 모델을 사용하였고, GRAW 사에서 개발한 GRAWMET 소프트웨어를 통해 자료를 처리하였다.

[0093] 도 8은 도플러 스펙트럼을 개선하기 전의 도플러 스펙트럼의 피크 분포이고, 도 9는 도플러 스펙트럼을 개선한 후의 도플러 스펙트럼의 피크 분포, 도 10은 도플러 스펙트럼 개선 전후의 풍속/풍향 분포, 도 11은 도플러 스펙트럼 개선 전후의 윈드프로파일러와 라디오존데의 바람 벡터 비교도, 도 12는 도플러 스펙트럼 개선 전후의 윈드프로파일러의 오차 평균과 고도별 RMSE 비교도이다.

[0094] 도 8은 PCL1300의 2013년 6월 17일 0420 UTC에 관측된 PCL1300의 경사빔의 도플러 스펙트럼에서 고도 3km 이상에 해당하는 범위에 걸쳐 직류(Direct Current, DC) 성분이 관측되었다.

[0095] 직류 성분은 시선 속도가 0 m/s인 신호를 의미하며, 이 지점을 통칭하여 DC 라인이라 한다.

[0096] 마주보는 경사빔의 도플러 스펙트럼은 대칭적인 분포를 보이지만, 동쪽 경사빔에서는 DC 성분이 관측되지 않았다. 남쪽 경사빔과 북쪽 경사빔에서는 둘 다 DC 성분이 관측되었기 때문에 서로 대칭을 이루는지 정확히 확인할 수 없다.

[0097] 도 9는 도 8의 DC를 제거하고 재생성된 도플러 스펙트럼이다.

[0098] 가장 큰 특징은 동쪽 빔을 제외한 빔에서 고도 3km 이상에서 발생한 DC 성분이 제거됨으로써 묻혀있던 대기 신호가 나타난 것이다. DC를 제거하기 전에 나타났던 마주보는 경사빔 사이에 도플러 스펙트럼의 비대칭성은 사라지고 고도별로 대칭성이 나타났다.

[0099] 도 10은 도플러 스펙트럼의 개선 전후에 따른 풍속과 풍향을 산출하여 비교한 것이다.

[0100] 고도 3km 이상에서 과소 추정되거나 바람을 표출하지 못한 영역을 개선하였다. 사례에 수집 가능한 바람 자료의 수는 30246개이고, 개선 전에는 89.2%의 자료를 수집하였다. 개선 후에는 99.7%의 자료를 수집하였고, 도플러 스펙트럼의 개선을 통하여 10.5 %의 자료를 더 수집하였다.

[0101] 지형 클러터를 제거하기 전에 풍속은 과소 추정되어 주변과 10m/s 차이가 발생하고 90도 이상의 풍향 오차가 발생한 영역이 나타났다. 하지만, 과소 추정되었던 풍속과 이로 인한 풍향 오차를 개선함에 따라 연속적인 바람

자료를 상당수 복원하였다.

[0102] 도 11에서는 도플러 스펙트럼의 개선 전후에 따른 바람 벡터의 오차 평균과 고도별 RMSE를 비교하였다.

[0103] 고도 3km 이상에서 U 성분의 오차의 평균은 최대 9m/s까지 발생하였고, 개선 후에는 U 성분의 오차의 평균은 최대 5 m/s로 감소하였다. 고도별 RMSE는 개선 전에는 과소추정된 바람 벡터에 의하여 U 성분 최대 10m/s 이상 발생하였고, 개선 후에는 최대 6m/s로 감소하였다. 오차 평균과 RMSE를 결합시키면 개선 전후의 차이를 명확하게 확인할 수 있다.

[0104] 도 12는 사례에서 관측된 라디오존데 바람 벡터와 PCL1300의 개선 전후의 바람 벡터를 비교한 것이다.

[0105] 도 11의 (a)에서 개선 전의 PCL1300의 풍속은 전반적으로 선형적인 분포를 보였으나 15 ~ 20m/s의 풍속에서는 지형 클러터에 의해 과소 추정되어 0m/s 부근에 밀집한 분포를 보였다.

[0106] 도 11의 (b)에서는 개선 전에 라디오존데와 대응하는 자료가 개선 전 자료에 대하여 15% 증가하였다. 지형 클러터 제거를 통해 0m/s 부근에 밀집한 풍속은 제거되고 개선 전보다 강한 풍속을 제공하였다.

[0107] 이상에서 설명한 본 발명에 따른 윈드프로파일러 원시 자료의 도플러 스펙트럼을 이용한 바람 벡터 산출 시스템 및 그 방법은 바람 산출 프로그램을 이용하지 않고, 윈드프로파일러의 도플러 스펙트럼으로부터 풍향 및 풍속 정보를 생성할 수 있도록 한 것으로, 윈드프로파일러 원시 자료 자체를 이용하여 풍향 및 풍속 정보를 생성하는 특징을 갖는다.

[0108] 이상에서의 설명에서와 같이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 본 발명이 구현되어 있음을 이해할 수 있을 것이다.

[0109] 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

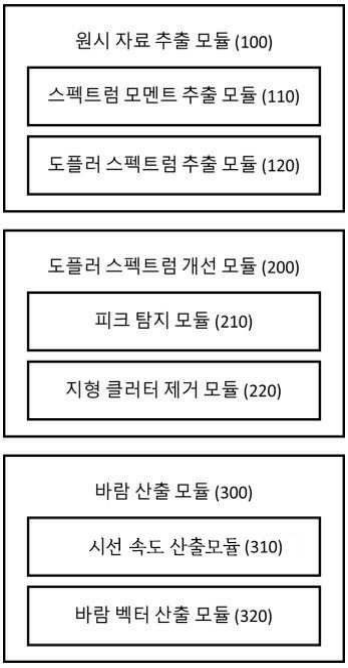
[0110] 100. 원시 자료 추출 모듈

200. 도플러 스펙트럼 개선 모듈

300. 바람 산출 모듈

도면

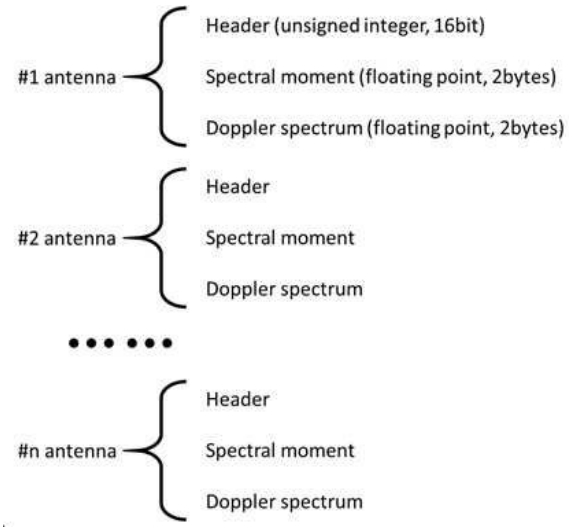
도면1


원시 자료 추출 모듈 (100)
스펙트럼 모멘트 추출 모듈 (110)
도플러 스펙트럼 추출 모듈 (120)
도플러 스펙트럼 개선 모듈 (200)
피크 탐지 모듈 (210)
지형 클러터 제거 모듈 (220)
바람 산출 모듈 (300)
시선 속도 산출모듈 (310)
바람 벡터 산출 모듈 (320)

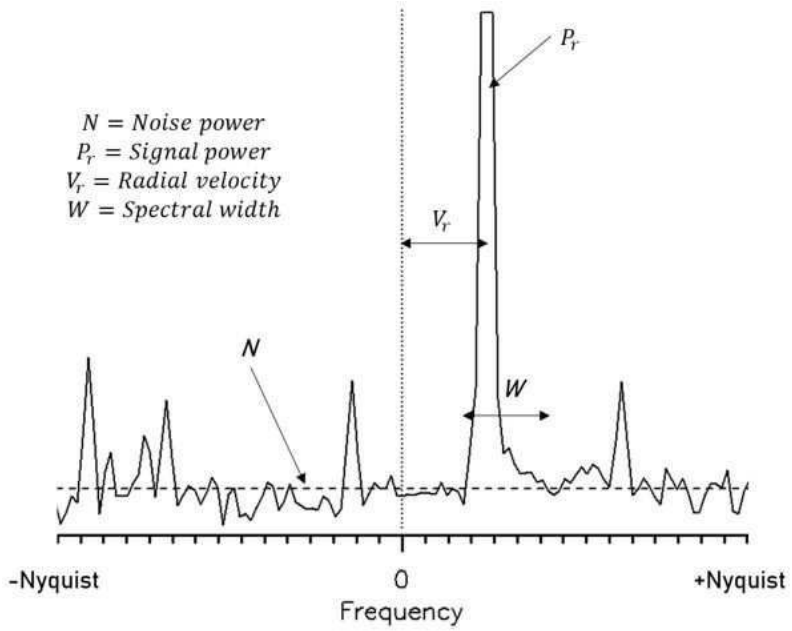
도면2


시작
스펙트럼 모멘트 추출
S1-1
S1
도플러 스펙트럼 추출
S1-2
피크 탐지
S2-1
S2
지형 클러터 제거
S2-2
시선 속도 산출
S3-1
S3
바람 벡터 산출
S3-2
종료

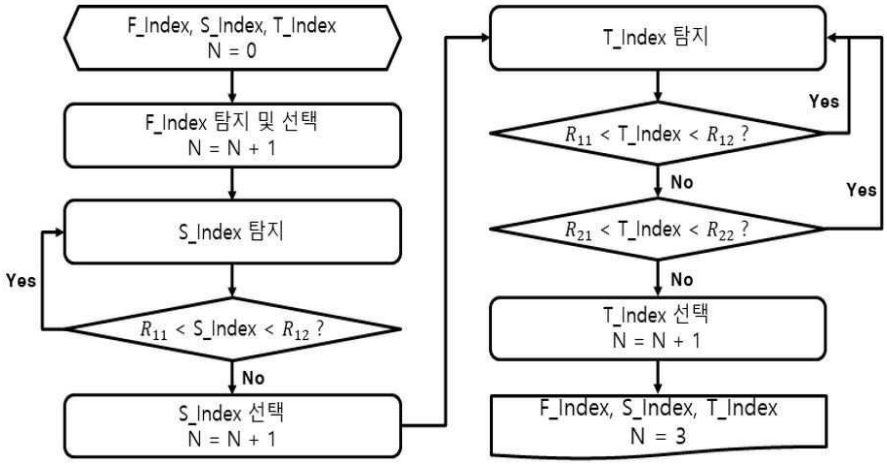
도면3


#1 antenna
Header (unsigned integer, 16bit)
Spectral moment (floating point, 2bytes)
Doppler spectrum (floating point, 2bytes)
#2 antenna
Header
Spectral moment
Doppler spectrum
#n antenna
Header
Spectral moment
Doppler spectrum

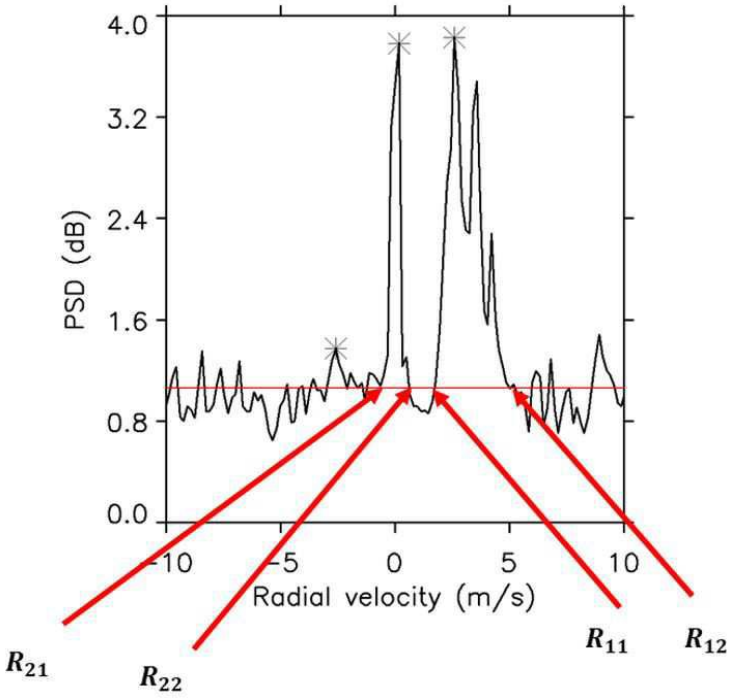
도면4


N = Noise power
Pr = Signal power
Vr = Radial velocity
W = Spectral width
Pr
Vr
N
W
-Nyquist
0
+Nyquist
Frequency

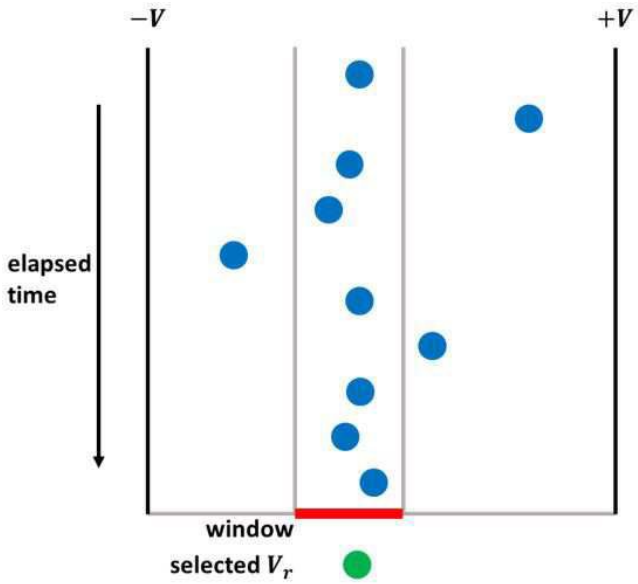
도면5


F_Index, S_Index, T_Index
N = 0
F_Index 탐지 및 선택
N = N + 1
S_Index 탐지
Yes
R_{11} < S_Index < R_{12} ?
No
S_Index 선택
N = N + 1
T_Index 탐지
Yes
R_{11} < T_Index < R_{12} ?
No
Yes
R_{21} < T_Index < R_{22} ?
No
T_Index 선택
N = N + 1
F_Index, S_Index, T_Index
N = 3

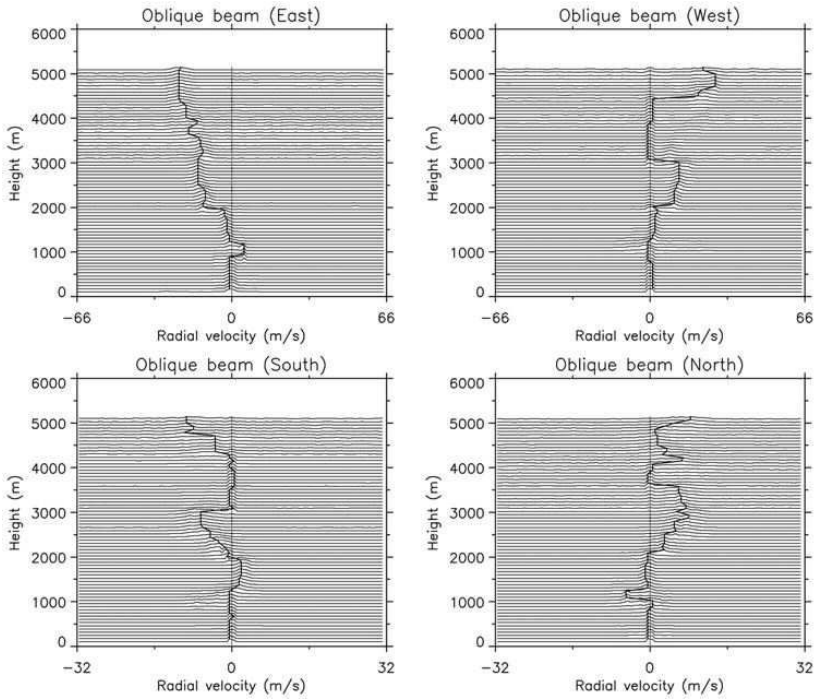
도면6


4.0
3.2
2.4
1.6
0.8
0.0
PSD (dB)
-10
-5
0
5
10
Radial velocity (m/s)
R_{21}
R_{22}
R_{11}
R_{12}

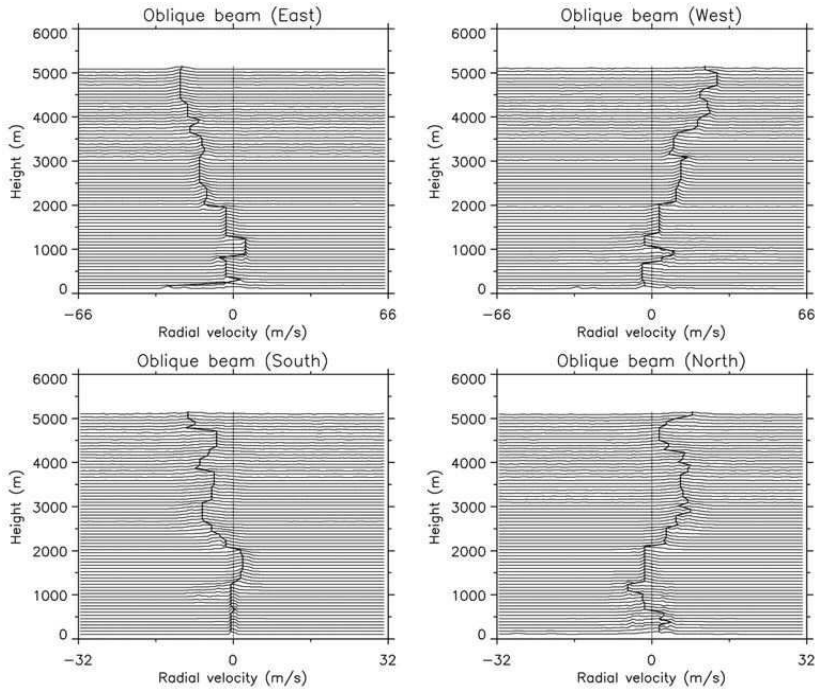
도면7


−V
+V
elapsed time
window
selected V_r

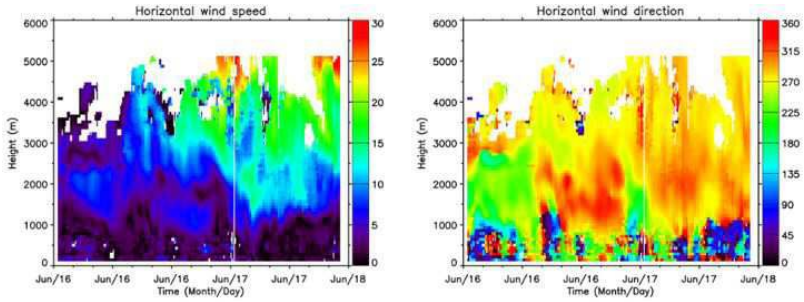
도면8


Oblique beam (East)
Oblique beam (West)
Oblique beam (South)
Oblique beam (North)
Height (m)
Radial velocity (m/s)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
−66
66
−32
32

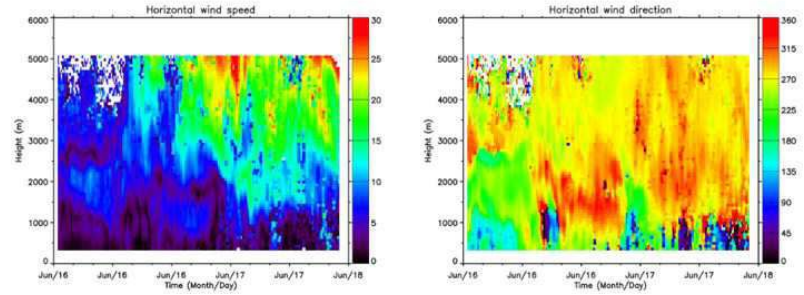
도면9



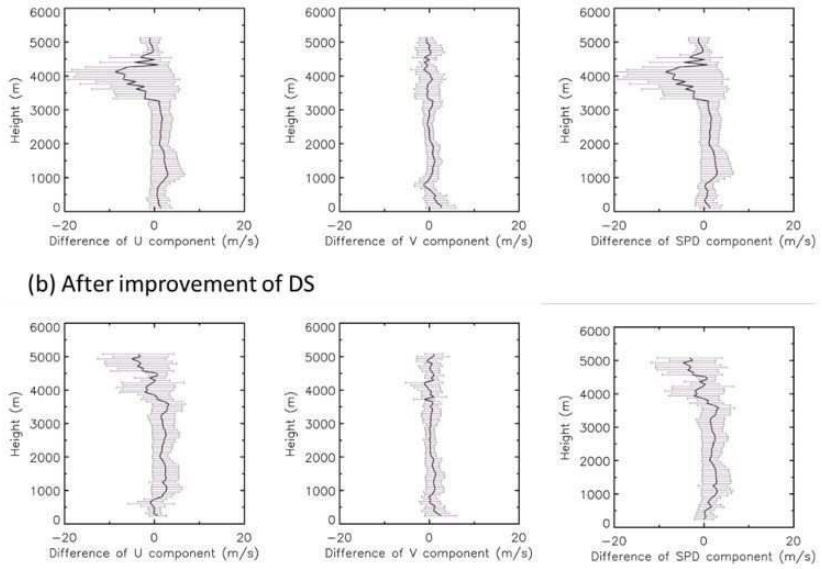
도면10



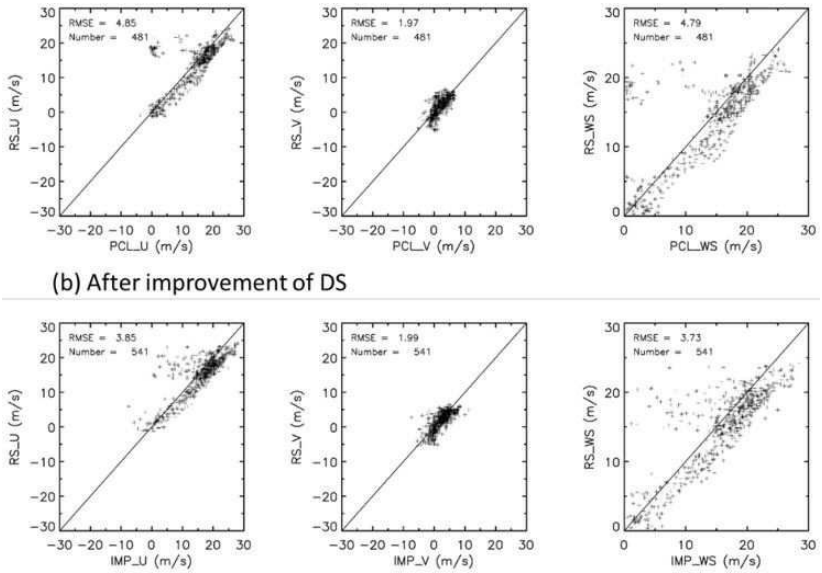
(b) After improvement of DS



도면11


Height (m)
Difference of U component (m/s)
Difference of V component (m/s)
Difference of SPD component (m/s)
(b) After improvement of DS

도면12


RMSE = 4.85
Number = 481
RMSE = 1.97
Number = 481
RMSE = 4.79
Number = 481
RS_U (m/s)
RS_V (m/s)
RS_WS (m/s)
PCL_U (m/s)
PCL_V (m/s)
PCL_WS (m/s)
(b) After improvement of DS
RMSE = 3.85
Number = 541
RMSE = 1.99
Number = 541
RMSE = 3.73
Number = 541
IMP_U (m/s)
IMP_V (m/s)
IMP_WS (m/s)