(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。Int. Cl.[6]
G01S 13/95

(45) 공고일자 2004년10월02일
(11) 등록번호 10-0442009
(24) 등록일자 2004년07월19일

(21) 출원번호 10-1998-0704968
(22) 출원일자 1998년06월26일
번역문 제출일자 1998년06월26일
(86) 국제출원번호 PCT/FR1996/002006
(86) 국제출원출원일자 1996년12월13일
(65) 공개번호 10-1999-0076841
(43) 공개일자 1999년10월25일
(87) 국제공개번호 WO 1997/24629
(87) 국제공개일자 1997년07월10일

(81) 지정국 국내특허 : 아일랜드, 중국, 일본, 대한민국,

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 독일, 덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투칼, 스웨덴, 스위스,

(30) 우선권주장 95/15483 1995년12월26일 프랑스(FR)

(73) 특허권자
탈레스
프랑스 75008 빠리 불르바르 오쓰망 173

(72) 발명자
쏘바죠 앙리
프랑스 에프-94117 세덱스 아르꿰이아브뉘 뒤 프레지덩-살바도르-알렁드 13톰슨-씨에스에프 에스.쎄.뻬.이.

베겡 다니엘
프랑스 에프-94117 세덱스 아르꿰이아브뉘 뒤 프레지덩-살바도르-알렁드 13톰슨-씨에스에프 에스.쎄.뻬.이.

드빈느 레지
프랑스 에프-94117 세덱스 아르꿰이아브뉘 뒤 프레지덩-살바도르-알렁드 13톰슨-씨에스에프 에스.쎄.뻬.이.

(74) 대리인
특허법인코리아나

심사관 : 이귀남

(54) 이중편광레이다를이용한강수율결정방법및그방법을이용하는기상레이다

요약

이 처리는 2 개의 편광 채널 (H,V) 상에서 수신한 신호로부터 먼저 단일 편광 상에서 거리 (i) 까지 각각의 문에서 레이다 빔을 따라 강수율 ($\overline{R_a}$) 의 추정값 (19, 30 내지 32) 을 결정하고, 강수율의 적산의 제 1 추정값 (I_1)을 결정하고, 마지막으로 감쇠 반사율 차이 ($Z_{Ha}(r)$) 로부터 비감쇠 반사율 차이 ($Z_{DRs}(r)$) 의 추정값 (35 내지 38, 47, 48) 을 결정하는 단계를 포함한다. 또한, 비감쇠 반사율 차이($Z_{DRs}(r)$)의 측정값을 결정하고 (30, 40 내지 42), 측정값 (I_2) 을 강수율로부터 추정하고 (43, 44), 편광 (H) 에만 적용되는 처리의 파라미터 (α) 를 반복적으로 조정하기 위하여 제 1 추정값 (I_1) 과 비교한다 (45,46). α를 조정하는 경우에, 비감쇠 반사율 차이의 보정값과 강수율이 얻어진다 (38,47). 본 발명은 기상 레이다에 응용된다.

대표도

도 1

명세서

기술분야

본 발명은 대기수상 (hydrometeor;-水象) 에 의해 감쇠한 파장에서 동작하는 펄스 레이다를 이용하여 강수율 및 대기수상의 반사율을 결정하는 방법 및 그 방법을 이용하는 이중 편광 기상 레이다에 관한 것이다.

배경기술

특히, 기상분야에서는, 단기 예보를 위해 강우 및 다른 대기수상을 관측하는 것이 필요하다. 따라서, 이런 현상의 특성 파라미터인 강수율을 정략적으로 결정하는 레이다를 이용하는 것을 다년간 고려해왔다. 이를 위해, 레이다 빔을 조사할 때의 강우 내지 대기수상의 반사율을 측정하는 것에 기초한 방법을 이용하고 있다. 그러나, 이런 방법의 대부분은, 대기수상에 의한 감쇠가 측정치에 편차를 유발하므로, 가능한 적게 감쇠한, 상대적으로 높은 파장에서 동작하는 것이 필요하다. 이는 작업을 어렵게 하고, 고비용을 요구한다.
보다 매력적인 다른 방법이 제안되었는 데, 이 방법은 2 개의 파장에 대한 감쇠와 단일 편광을 이용하는 것으로서, 레이다의 교정에 비의존적이라는 이점을 갖고 있다. 그러나, 이 방법은 요구하는 정밀도를 갖는 측정치를 구하는 데 있어서 기술적 어려움이 있다. 이는, 2 개의 파장의 빔을 일치시켜야 하고, 측정을 동시에 행해야 하기 때문이다.
수행된 모든 연구에서는, 보다 단파장의 레이다를 이용함으로써, 보다 컴팩트 하고 저렴한 장치를 선택할 수 있다는 이점이 입증되었다. 그러나, 특히 강수량이 큰 경우에는 해결하기 매우 어려운 감쇠보정의 문제를 수반할 수 있다.
반사율 차이 (differential reflectivity) 를 이용하여 강수율을 결정하는 이중 편광 레이다를 이용하는 개선된 기술이 제안되었다. 이 해결법은, 예를 들어, E. GORGUCCI et al. 의 논문 ('A Robust Estimator of Rainfall Rate Using Differential Reflectivity', Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol.11, April 1994, page 586-592) 또는 C.W. ULBRICH et al. 의 논문('Assessment of the contribution of differential polarization to improved rainfall measurements' Radio Science, Vol. 19, No. 1, January - February 1984, page 49-57) 에 기술되어 있다.
이 해결법은 보통의 감쇠에 대해 구한 결과는 개선시키지만, 심한 강우의 경우에 발생하는 모든 문제를 해결하지는 못한다.
본 발명은, 대기수상 (강우, 해일, 구름 등) 으로 이루어진 흡수체를 통하는 복귀 경로 상에서 상대적으로 높은 전자기파 감쇠를 유발하는 단파장을 이용하면서도, 이런 단점을 극복할 수 있는 방법에 관한 것이다.
본 발명은, 차이 측정 (diffrential measurment) 에 의해 구한 값에 대해 감쇠 효과를 보정하면서 2 개의 편광 성분 $(\vec{H},\vec{V})$ 에서의 반사율을 측정하기 위 해, 이중 편광 레이더를 이용하는 것에 기초한다.

발명의 상세한 설명

따라서, 본 발명은, 대기수상에 의해 감쇠한 파장에서 동작하는 펄스 레이다를 이용하여 상기 대기 수상의 강수율 및 반사율을 결정하는 방법에 있어서, 상기 레이다는 각각의 편광에 따라서 다양한 레인지 게이트에 대해 감쇠한 반사율의 일련의 측정값쌍 ($Z_{Ha}(r)$, $Z_{Va}(r)$)을 산출하는 이중 편광 레이다이며, 단일 편광에 대한 반사율 Z_H 및 비감쇠 반사율 차이 (unattenuated differential reflectivity) Z_{DR} 에 기초하여 강수율 (R)을 추정하는 방법으로서,
A) 상기 레이다의 각각의 레인지 게이트에서, 단일 편광에 대해 측정한 반사율에 기초하여, $Z = \alpha R^{\beta}$ 형태 (α 와 β는 파라미터임) 의 반사율 (Z) 과 강수율(R)사이의 관계식과 단일 편광에 대한 감쇠 계수와 강수율 사이의 관계식을 결합하여, 강수율의 제 1 추정값 (R_S) 을 결정하는 단계;
B) 강수율의 상기 제 1 추정값에 기초하여, 비감쇠 반사율 차이의 추정값(Z_{DRs})을 구하는 단계;
C) 비감쇠 반사율 차이 (Z_{DRs}) 의 상기 추정값과 감쇠 반사율 차이에 대한 레이다 측정값 Z_{DRa} 으로부터, 편광 감쇠 차이의 추정값 (A_{DP}) 을 추정하는 단계; 및
D) 다른 파라미터 (β) 는 소정의 상수값으로 유지하면서 반사율과 강수율 사이의 관계식에서 파라미터 중의 하나 (α) 를 반복적으로 조정하여, 레이다의 단일 편광에 대하여 단계 A) 에서 추정한 강수율의 적산값 (integral) ($I_1(r, R)$) 과 상기 편광 감쇠 차이 (A_{DP}) 로부터 추정한 강수율의 적산값 ($I_2(r, R)$) 사이에서 등식을 얻음으로써, 상기 비감쇠 반사율의 보정값 ($Z_{Hs}(r)$) 및 강수율의 보정값 ($R_S(r)$)을 추출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법을 제공한다.
이 방법의 가장 큰 이점은, 측정값 차이에 기초하기 때문에, 레이다의 교정 및 검출되지 않을 가능성이 있는 구름에 의한 감쇠에 비의존적이라는 것이다.
본 발명의 다른 양태는 대기 수상에 의해 감쇠한 파장의 펄스로 동작하고 강수율과 반사율을 결정하는 이중 편광 기

상 레이다에 있어서, 2 개의 직교 편광 채널에 대응하는 모드 $(\vec{H},\vec{V})$ 를 추출하는 수단 (2,3,4) 에 연결된 이중 편광 안테나 (1); 상기 안테나의 2 개의 채널에 펄스를 제공하는 트랜스미터 (5,6); 및 상기 2개의 직교 편광 채널이 출력하는 신호를 처리하는 하나 이상의 수신 채널(7,9,11,13,15,17,19; 10,12,13,16,18,20)을 구비 하는 레이다로서, 상술한 방법을 이용하도록 디자인한 디지털 신호 처리 장치 (21) 를 포함하는 것을 특징으로 하는 레이다를 제공한다.

도면의 간단한 설명

다음의 설명과 첨부도면을 통하여, 본 발명은 보다 명확하게 이해되고 그 특징과 이점이 분명해질 것이다.
도 1 은 본 발명에 따른 기상 레이다의 개략도이다.
도 2 는 본 발명에 따른 방법을 이용하기 위한 디지털 신호 처리 장치의 블록도이다.

실시예

도 1은 이중 편광 기상 레이다의 구성을 도시한다. 이 레이다는 반사 장치 (미도시) 를 조사하는 이중 편광 일차 소스 (1) 를 구비하는 이중 편광 안테나를 갖는다.

이 소스는 2 개의 편광 채널 $(\vec{H},\vec{V})$ 을 갖는 모드 (직교모드) 추출장치 (2) 와 연결된다. 펄스 트랜스미터 (6) 는 희망하는 레인지에 매칭하는 반복 주파수 (예를 들어, 150km 의 레인지에 대해서 F_r = 1kHz) 의 펄스를 일차 소스에 공급한다. 수평에 대해 45° 인 편광을 얻기 위해 매직 T (magic T) 를 통해, 또는 원편광 (circular polarization) 을 얻기 위해 3dB 커플러 (5) 에 의해 전송전력을 안테나의 두 채널로 분배한다. 이러한 2 개의 전송 모드는, 직교 편광으로 2 개의 신호를 전송 및 수신하고 그들을 진폭에 기초하여 처리하려는 것이므로, 선험적으로 동등하다. 원편광은, 안테나에 의해 트랜스미터로 반사된 정상파비의 관점에서 부수적인 이점을 갖는다.
2 개의 전력 서큘레이터 (3,4) 에 의해 얻어진 신호를 처리하는 2 개의 동일한 수신 채널이 제공된다. 종래의 방식에서, 각 채널은 리미터 (7,8), 증폭기(9,10), 중간 주파수로 변화시키는 믹서 (11,12), 중간 주파수 증폭기 (15,16), 큰 다이내믹 레인지를 얻기 위한 대수 증폭기 (17,18), 및 아날로그/디지털 코더 (19,20) 를 구비한다. 코딩된 신호는 본 발명에 따른 디지털 처리 장치 (21) (이하 상세하게 설명됨) 로 전송되며, 디지털 처리 장치 (21) 은 반사율 (Z) 및 강수율 (R) 을 보정한 후 출력으로 산출한다. 또한, 믹서 (11,12) 는 자동 주파수제어 회로 (14) 의 제어를 받는 국부발진기 (13) 로부터 신호를 수신한다.
어떤 기상 응용분야에서는, 대기수상의 성질에 관련된 보충 정보를 얻는 것이 바람직한데, 이때는 추가적인 도플러 수신 채널을 이용하여 수신한 신호의 위상을 측정하는 것이 유리하다. 이러한 채널은 채널 $(\vec{H})$ 의 경우에는 직교 부호화 신호 (I_H, Q_H), 채널 $(\vec{V})$ 의 경우에는 직교 부호화 신호 (I_V, Q_V) 를 전송하기 위해, 한편에는 2 개의 아날로그/디지털 코더 (23,24), 다른 한편에는 2 개의 아날로그/디지털 코더 (26,27) 가 후속하는 벡터 복조 회로 (22,25) 를 구비한다.
본 발명에 따른 방법의 원리는 다음과 같다. 단일 편광 (예를 들어, $\vec{H}$ 채널) 를 기초로 하여, 거리 (r) 의 강우 (또는 다른 대기수상) 에서 측정한 감쇠 반사율($Z_{Ha}(r)$) 과 감쇠 계수 (α) 의 관계식은

$$Z_{Ha}(r)=Z_0(r)-2\Delta r\sum_{i=1}^{n-1}a_i \quad (1)$$

(여기서, $Z_0(r)$ 는 비감쇠 반사율이고, Δr 는 레인지 게이트의 폭이고, α_i 는 순위(i) 의 레인지 게이트일 경우의 감쇠 계수로서, 단위 길이당 dB 로 표현되 며, $Z_{Ha}(r)$와 $Z_0(r)$ 는 dBZ (즉, 10 log Z mm^6 mm^{-3}) 로 표현되고, $r = n\Delta r$ 이다) 이다.
감쇠 계수는 공지된 식

$$\alpha=k_H R^{\gamma_H} \quad (2)$$

(여기서, k_H 및 γ_H 는, 온도 및 물방울 크기 분포 (DSD) 에 약하게 의존하고 각각의 파장에 대해서 계산될 수 있는 편광 $(\vec{H})$ 에 관련된 파라미터이다) 에 의해 강수율 R 과 관련된다.
식 (1) 과 (2) 를 결합하면,

$$Z_0(r)=Z_{Ha}(r)+2\Delta r k_H I_1(r,R) \quad (3)$$

이고, 여기서

$$I_1(r,R)=\sum_{i=1}^{n-1}R_i^{r_H} \quad (4)$$

이다.

I_1 은 선택한 $(\vec{H})$ 편광에 대하여 레이다 빔에 따른 강수율의 적산, 다시 말해, 게이트 n 에 선행하는 n-1 개의 레인지 게이트에서의 누적 감쇠를 나타낸다.

강우로 인한 반사율 (Z) 과 강수율 (R) 사이의 공지된 관계식은

$$Z=\alpha R^{\beta} \quad (5)$$

(여기서 α 와 β는 파라미터이다) 이다. 따라서, 식 (4) 를

$$I_1(r,R)=\alpha^{-\gamma/\beta}\sum_{i=1}^{n-1}Z_i^{\gamma/\beta} \quad (4')$$

로 나타낼 수 있다.

파라미터 (α, β) 는 DSD 에 크게 의존한다. 식 (3) 및 (5) 에서 4 개의 파라미터 (k, γ, α, β) 에 대한 근사값을 이용하여, 1978년에 P.H. Hildebrand 이 'Iterative correction for attenuation of 5 cm radar in rain' J.App.Meteor., 17, page 508-514 에서 제안한 반복법을 이용하여 구한 n 개의 일련의 측정값 ($Z_a(r)$) 에 기초하여, 보정한 추정값 (Z'(r)) 을 계산할 수 있다. 이 논문에 기재된 바와 같이, 가정한 DSD 및 온도의 오류는 감쇠 추정을 매우 저하시킬 수 있지만, 이 감쇠 추정치의 저하는 레이다를 교정할 때의 오류로부터 유발되는 것에 비해 작다. 레이다 교정 오류에 의해 영향을 받는 파라미터는 R 에 대한 Z 의 관계식의 파라미터이므로, $I_1(r, R)$ 에 관련되는 본질적인 불확정성은 파라미터 (α, β) 에 관련되는 불확정성으로부터 기인한다.

따라서, 이러한 불확정성을 해결하기 위해, 레이다의 2 개의 편광을 이용하 는 차이 측정을 이용한다. 반사율 차이 (Z_{DR}) 는 식

$$Z_{DR}=Z_H-Z_V \quad (6)$$

(여기서, Z 는 dBZ 로 표현되고, 첨자 H, V 는 레이다의 2 개의 편광, 예를 들어, 수평과 수직에 대응한다) 로 정의한다.

감쇠한 파장에 대하여, H 와 V 편광에 대한 식 (1) 을 이용하여 H 항으로부터 V 항을 감산하면,

$$Z_{DRa}(r)=Z_{DRs}(r)-2A_{DP}(r) \quad (7)$$

이 되고, 여기서 $Z_{DRa}(r)$ 은 감쇠 편광 레이다 측정치이고, $Z_{DRa}(r) = Z_{OH} - Z_{OV}$ 는 물방울의 형상에만 기인하는 비감쇠 반사율 차이이고, A_{DP} 는 전자기파의 경로에 대한 편광 감쇠 차이, 즉

$$A_{DP}(r)=\Delta r\sum_{i=1}^{n-1}(a_{iH}-a_{iV}) \quad (8)$$

이다.

가정한 DSD를 이용하여, 물방울의 형상에 기인하는 반사율 차이 (Z_{DRs}) 는 강 수율의 함수

$$Z_{DRs}=f(R) \quad (9)$$

로 계산할 수 있다.

식 (8) 의 감쇠 계수 (α_{iH}, α_{iV}) 는 H 및 V 편광에 대한 식 (2) 에 의해 주어진다. 가정한 DSD 를 이용하여, 파라미터 (k_H, k_V, γ_H, γ_V) 를 계산할 수 있다. 계산은, 차이 $\alpha_H - \alpha_V$ 가 DSD 에 크게 의존하지 않는다는 것을 보여준다. 주어진 파장에 대하여, k_H 및 k_V 는 매우 다르지만, $\gamma_H \approx \gamma_V \approx \gamma$ 이다.

식 (2) 와 (8)을 결합하면,

$$A_{DP}(r)=\Delta r(k_H-k_V)I_2(r,R) \quad (10)$$

이고, 여기서

$$I_2(r,R)=\sum_{i=1}^{n-1}R_i^r \quad (11)$$

이다. 식 (11) 을 식 (4') 에서와 유사한 방식으로, 즉 Z 의 함수로 나타낼 수 있다.
$I_2(\gamma, R)$ 는 감쇠 차이 (A_{DP}) 로부터 추정한 강수율 적산값을 나타내고, $k_H - k_V$ 는 정확히 알려진 것으로 가정한다. 이는 측정 차이로부터 결과된 것이기 때문에, A_{DP} 는 레이다의 교정에 비의존적이다.
강우에서의 DSD 의 자연 발생적 가변성과 교정오차 때문에, I_1 과 I_2 의 추정에 있어서 단지 파라미터 (α, β) 만이 변수값이다.
본 발명에 따른 방법에서는, 파장과 관측되는 강우의 종류에 대응하는 기후학적 평균값과 동일한 상수값으로, β 를 유지하고, 감쇠 차이 (A_{DP}) 를 이용하여 파라미터 (α) 를 조정하도록 제안한다.
β 에 관한 이러한 가정은 문헌에서 볼 수 있는 수많은 측정결과에 의해 확인되었다.
따라서, 이 원리는, α 의 임의의 중간값을 선택하면서 편광 중의 하나에 대한 일련의 측정값에 기초하여 I_1 을 결정하고, 비감쇠 반사율 차이를 추정하기 위한 레이다 측정치 차이 및 I_1 을 이용하는 계산에 기초하여 I_2 를 추정하고, I_1 과 I_2 를 비교하여 $I_1 \approx I_2$ 하게 될 때까지 α를 변화시켜서 비감쇠 반사율 차이의 보정한 추정값 (Z_i) 및 강수율의 보정한 추정값 (R_i)을 구하는 것이다.
도 2 는 이 방법을 이용할 수 있는 디지털 처리 장치를 도시한다. 도 2 의 좌측 부분은 단일 편광, H 편광에 관련되고, 우측 부분은 차이 처리에 관련된다.
단계 30 에서 H 채널의 코더 (19) 가 산출한 대수 신호를 선형 신호($Z_{Ha}(r)$) 로 역변환한다. 이들 신호를 레이다의 N 개의 펄스에 대하여 평균하고 (단계 31), 식 (5) 에 따라 소정의 파라미터 α 및 β (α의 경우에는 임의의 값) 에 기초하여 추정한 강수율 $(\overline{R_a})$ 을 계산하고 (단계 32), 각각의 레인지 게이트 (i) 에 대하여 이 과정들을 수행한다.
단계 33 는 식 (2) 에 기초하여 감쇠 계수 $(\overline{a_i})$ 를 계산하는 것으로 이루어진다.
추정값 $(\overline{I_1(r,R)})$ 을 식 (2) 및 (4) 에 따라서 추정한다 (단계 34).
또한, 단계 36 및 37 에서 단일 편광 (H) 에 대한 일련의 측정값으로부터 추정한 감쇠 반사율 $(\overline{Z_{Ha}(r)})$ 을 계산하고, 단계 35 에서 식 (3) 의 감쇠항 (A_H) 을 추정한다. 합산으로 이루어지는 단계 38 에서 식 (3) 을 적용하여, H 편광에 대한 비감쇠 반사율의 추정값 ($Z_{Hs}(r)$) 을 제공하고, 다음에 단계 47 에서 식 (5) 에 이미 선택한 파라미터 (α, β) 를 적용하여, 보정된 강수율 $(\overline{R_s})$ 의 추정값을 제공한다.
단계 48 에서, 이 추정값에 기초하여, 식 (9) 에 따라 비감쇠 반사율 차이 (Z_{DRs}) 의 추정값을 계산할 수 있다.
또한, 단계 30 및 40 에서 산출한 H 및 V 채널에 대한 코딩된 신호로부터, 비 $Z_{Ha}(r)/Z_{Va}(r)$ 을 구하고 (단계41), 단계 42 에서 N 개의 펄스에 대하여 평균한 감쇠 편광측정 레이다 측정값 (Z_{DRa}) 을 제공한다. 이 평균값과 단계 48 에서 산출한 비감쇠 반사율 차이의 측정값 사이의 차이 (단계43) 는 편광 감쇠 차이의 추정값 $(\overline{A_{DP}(r)})$ 을 구성한다. Δr 과 $k_H - k_V$ 의 값에 기초하여, 단계 44 에서는 식 (10) 에 따라 $\overline{I_2(r,R)}$ 의 추정값을 산출한다. 그 다음에, 단계 45 에서 $\overline{I_1}$ 과 $\overline{I_2}$ 를 비교한다.
$\overline{I_1} \neq \overline{I_2}$ 일 경우, 단계 46 은 적절한 방향으로의 증가분 ($\Delta\alpha$) 만큼 파라미터 (α) 를 변화시키는 단계와 계산을 재시작하기 위해 단계 32 및 47 에 새로운 값 (α') 을 적용하는 단계로 이루어진다. 이 연산을 $\overline{I_1} = \overline{I_2}$ 을 얻을 때까지 반복하고, 이는 α 에 주어지는 보정값에 해당한다. 그 다음에, 비감쇠 반사율 $(Z_i(r)=\overline{Z_{Hs}}(r))$ 및 강수율 $(R_i(r)=\overline{R_s}(r))$ 의 보정값을 구할 수 있다 (단계49).
본 발명에 따른 방법의 원리를 설명함에 있어서, 식 (9) 에 대하여 식 (10) 에 대한 k_H 및 k_V 뿐만 아니라 Z_{DRa} 도 가정한 단일의 DRS 에 대하여 계산한다고 가정하였다. 이는, 주어진 기후조건에 대하여 평균 DSD 가 안정된 파라미터이기 때문에, 적절하다. 따라서, 이는 기후학적 고려에 기초하여 특정한 DSD를 선택할 수 있다.
또한, Z_{DRs} 가 낮아지고 식 (9) 에 따른 추정의 오차도 어느 정도 낮아지기 때문에, 반사율이 낮은 거리 (r) 에서 레인지 게이트를 선택하는 것이 바람직하다.
이러한 특정한 게이트의 선택은, 거리 (r) 의 게이트를 인자 (I_1, I_2, α)를 크게 변화시키기 않고도 다른 반사율을 갖는 r 근처의 거리로 대체할 수 있기 때문에 보다 타당하며 수월하다.
2 개 또는 3 개의 인접한 게이트에 기초하여 α를 계산하고, DSD 에서의 분산 효과를 감소시키기 위해 평균을 이용할 수 있다.
또한, 관측된 방사 방향을 여러 개의 세그멘트로 분할할 수 있고, 동시에 본 발명에 따른 방법을 여기에 적용할 수 있다.

상술한 방법은 하나의 편광에 대하여 레이다에서 측정한 반사율에 영향을 미치거나, 차이 값에 영향을 미치는 랜덤 샘플링 오차에 거의 영향을 받지 않는다.
본 발명에 따르는 방법의 중요한 이점 중의 하나는, 이미 언급한 것과 같이 레이다의 교정 및 검출되지 않은 구름으로 인한 감쇠에 비의존적이라는 것이다.
또한, 본 발명은 해일 (hail) 에 대한 정량적인 검출에 이용할 수 있다는 것이다. 이것에 대해 설명하면, 해일이 강우 셀 (rain cell) 내에 존재하는 경우에, 헤일스톤 (hail stone) 은 실질적으로 구형이므로, 두 편광에 대하여 $Z_H \approx Z_V$ 인 고반사율, 따라서 거의 영인 반사율 차이를 산출한다. 한편, 편광에 비의존적인 강한 감쇠가 있고, 따라서 감쇠 차이 (A_{DP}) 에 대해 영의 기여 (zero contribution) 가 있다. 따라서, 헤일의 존재는 I_1 을 변화시키지만, 균일한 강우의 경우와는 대조적으로 I_2 를 부수적으로 변화시키지는 않는다. 그리고, α 의 상당한 변화가 관측되며, 이는 해일의 지표로서 이용될 수도 있다.
또한, 편광 감쇠 차이 (A_{DP}) 를 이용하는 관점에서 설명하였지만, 본 발명에 따른 방법은 degree. km 로 표현되는 전파의 위상 변화 차이 ($k_{DP} = k_H - k_V$) 를 이용하여 수행할 수 있다.
명백하게, 상술한 실시예는 어떠한 방식으로도 본 발명을 한정하지 않는다. 특히, 상술한 기상 레이다는 상술한 2 개의 채널 대신에 단일 수신 채널을 이용하고, 그 채널을 시분할로 이용하기 위해 2 개의 편광에 대한 신호를 입력에서 스위칭 하고 출력에서 언-스위칭한다. 스위칭 속도는 편광 H 및 V 에 대해 수신한 신호가 스위칭 시간 동안 비상관적이지 않도록 선택할 필요가 있다.

또한, 도플러 채널의 신호 (I,Q) 로 채널 H, V 각각에서 신호 진폭 $(\sqrt{I^2+Q^2})$ 을 계산할 수 있게 하고, 채널 (17,19, 및 18,20) 을 이용하지 않도록, 코더 (19,20) 가 출력한 신호에 대신하여 이 진폭을 이용할 수 있다. 그러나, 이것의 단점은 대수 증폭기의 이용으로부터 결과되는 다이내믹 레인지를 제공하지 않는다는 것이다.
마지막으로, 도 2 의 본 발명에 따른 처리장치에서, 선형 신호로 역변환하는 대신에 대수 신호를 계속 이용하는 것도 생각할 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.
대기수상에 의해 감쇠한 파장에서 동작하는 펄스 레이다를 이용하여 상기 대기 수상의 강수율 및 반사율을 결정하는 방법에 있어서, 상기 레이다는 각각의 편광에 따라서 다양한 레인지 게이트에 대해 감쇠한 반사율의 일련의 측정값쌍 ($Z_{Ha}(r)$, $Z_{Va}(r)$) 을 산출하는 이중 편광 레이다이며, 단일 편광에 대한 반사율 Z_H 및 비감쇠 반사율 차이 Z_{DR} 에 기초하여 강수율 (R) 을 추정하는 방법으로서,
A) 상기 레이다의 각각의 레인지 게이트에서, 단일 편광에 대해 측정한 반사율에 기초하여, $Z = \alpha R^{\beta}$ 형태 (α와 β는 파라미터임) 의 반사율 (Z) 과 강수율 (R) 사이의 관계식과 단일 편광에 대한 감쇠 계수와 강수율 사이의 관계식을 결합하여, 강수율의 제 1 추정값 (R_S)을 결정하는 단계;
B) 강수율의 상기 제 1 추정값에 기초하여, 비감의 반사율 차이의 추정값 (Z_{DRs}) 을 구하는 단계;
C) 비감쇠 반사율 차이의 상기 추정값 (Z_{DRs}) 과 감쇠 반사율 차이에 대한 레이다 측정값 (Z_{DRa}) 으로부터, 편광 감쇠 차이의 추정값 (A_{DP}) 을 추정하는 단계; 및
D) 다른 파라미터 (β) 는 소정의 상수값으로 유지하면서 반사율과 강수율 사이의 관계식에서 파라미터 중의 하나 (α) 를 반복적으로 조정하여, 레이다의 단 일 편광에 대하여 단계 A) 에서 추정한 강수율의 적산값 ($I_1(r,R)$) 과 상기 편광 감쇠 차이 (ADP) 로부터 추정한 강수율의 적산값 ($I_2(r,R)$) 사이에서 등식을 얻음으로써, 비감쇠 반사율의 보정값 ($Z_{Hs}(r)$) 및 강수율의 보정값 ($R_S(r)$) 을 추출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2.
제 1 항에 있어서, 단계 A) 는
a) 상기 제 1 일련의 측정값 ($Z_{Ha}(r)$) 에 대하여, 임의로 지정한 파라미터 (α, β) 에 기초하여 다양한 레인지 게이트 (1 내지 n-1) 에 대한 강수율의 추정값 (R_i) 을 계산하는 단계;
b) 상기 강수율의 추정값 (R_i) 으로부터, 단일 편광에 대하여 추정한 강수율의 적산값이고 강우로 인한 감쇠에 특유한 제 1 추정값 ($I_1(r,R)$) 을 추정하는 단계;
c) 상기 제 1 추정값 ($I_1(r,R)$) 및 제 1 일련의 측정값 ($Z_{Ha}(r)$) 에 기초하여, 비감쇠 반사율의 추정값 ($Z_{Hs}(r)$) 및 보정한 강수율의 추정값 (R_S) 을 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3.
제 1 항에 있어서, 단계 B) 는
d) 상기 보정한 강수율의 추정값 (R_S) 및 주어진 물방울 크기 분포 (DSD) 에 기초하여, 비감쇠 반사율 차이의 추정값 ($Z_{DRs}(r)$)을 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4.
제 1 항에 있어서, 단계 C) 는
e) 상기 감쇠 반사율에 대한 일련의 측정값쌍 ($Z_{Ha}(r)$, $Z_{Va}(r)$)에 기초하여, 감쇠 반사율 차이의 측정값 ($Z_{DRa}(r)$)을 계산하는 단계;
f) 감쇠 반사율 차이의 측정값 ($Z_{DRa}(r)$) 과 단계 B) 에서 구한 비감쇠 반사율 차이의 추정값 ($Z_{DRs}(r)$) 으로부터, 편광 감쇠 차이의 추정값 (A_{DP}) 을 추정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5.

제 1 항에 있어서, 단계 D) 는

g) 상기 편광 감쇠 차이의 추정값 (A_{DP}) 으로부터, 강우로 인한 감쇠에 특유한 제 2 추정값 ($I_2(r,R)$), 즉 강수율의 적산값을 추정하는 단계;

h) 상기 제 1 추정값 ($I_1(r,R)$) 과 상기 강우로 인한 감쇠에 특유한 제 2 추정값 ($I_2(r,R)$) 을 비교하는 단계;

i) 단계 h) 의 상기 비교에서 상기 제 1 추정값과 상기 제 2 추정값이 다르 면, 단계 A) 의 상기 파라미터 (α, β) 중의 하나 이상을 변화시키고 단계 A), B), C), h) 및 i) 를 반복하는 단계; 및

j) 단계 h) 의 상기 비교에서 상기 제 1 추정값과 상기 제 2 추정값이 동일하면, 상기 비감쇠 반사율의 추정값 ($Z_{Hs}(r)$) 및 상기 보정한 강수율 (R_s) 의 추정값을 구하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6.

제 2 항 내지 제 5 항 중의 어느 하나의 항에 있어서, 단계 a) 는

a.1) 레이다의 N 개의 펄스에 대하여 상기 제 1 일련의 측정값 (($Z_{Ha}(r)$)을 평균하는 단계; 및

a.2) 각각의 레인지 게이트 (i) 에 대하여, 임의로 지정한 파라미터 (α, β) 에 기초하여, 식

$$\overline{R_i}=\left(\frac{\overline{Z_{Ha}(r)}}{\alpha}\right)^{1/\beta}$$

에 따라서 강수율의 추정값 $(\overline{R_i})$ 을 계산하는 단계로 이루어지는 것을 특징으로 방법.

청구항 7.

제 2 항에 있어서, 단계 b) 는

b.1) 강수율의 추정값 $(\overline{R_i})$ 에 기초하여,식

$$\overline{a_i}/k_H=\overline{R_i}^{r_H}$$

(여기서, k_H 및 γ_H 는 주어진 온도와 주어진 물방울 크기 분포에 대한 소정의 파라미터) 에 따라서 각각의 레인지 게이트에서 감쇠 계수 $(\overline{a_i})$ 를 계산하는단계; 및

b:2) 상기 감쇠 계수 $(\overline{a_i})$ 로부터, 식

$$\overline{I_1}(r,R)=\sum_{i=1}^{n-1}\overline{a_i}/k_H$$

(여기서, n 은 레이다로부터 거리 r 에 대한 레인지 게이트의 수) 에 따라서 상기 제 1 추정값 $(\overline{I_1}(r,R))$ 을 추정하는 단계로 이루어지는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8.

제 2 항에 있어서, 단계 c) 는

c.1) 상기 제 1추정값 $\overline{I_1}(r,R)$ 에 기초하여, 식

$$\overline{A}=2\Delta r k_H\overline{I_1}(r,R)$$

(여기서, Δr 은 레인지 게이트의 폭) 에 따라서 감쇠값 $(\overline{A})$ 을 계산하는 단계;

c.2) 레이다의 N 개의 펄스에 대하여 상기 제 1 일련의 측정값 ($Z_{Ha}(r)$) 을 평균하는 단계;

c.3) 비감쇠 반사율 차이의 추정값 $\overline{Z_{Hs}(r)}$ 을 구하기 위하여, 상기 감쇠값 $(\overline{A})$ 과 감쇠 반사율 ($Z_{Ha}(r)$) 의 평균값의 합을 구하는 단계;

c.4) 식

$$\overline{R_s}=\left(\frac{\overline{Z_{Hs}(r)}}{\alpha}\right)^{1/\beta}$$

에 따라서 보정한 강수율의 추정값 $(\overline{R_s})$ 을 계산하는 단계로 이루어지는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9.

제 4 항에 있어서, 단계 e) 는
e.1) 레이다의 감쇠 반사율 차이 ($Z_{DRa}(r)$) 의 값을 구하기 위해, 상기 일련의 측정값쌍 ($Z_{Ha}(r)$, $Z_{Va}(r)$) 의 일련의 비를 구하는 단계;
e.2) 레이다의 N 개의 펄스에 대하여 상기 감쇠 반사율 차이의 값들을 평균 하는 단계로 이루어지는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10.

제 5 항에 있어서, 단계 f) 는
레이다 경로에 대한 편광 감쇠 차이 ($A_{DP}(r)$) 의 추정값을 구하기 위해, 단계 B) 에서 구한 상기 비감쇠 반사율 차이의 추정값 $\overline{(Z_{DRs}(r))}$ 과 상기 감쇠 반사율차이의 평균값 $\overline{(Z_{DRa}(r))}$ 사이의 차이를 구하는 단계로 이루어지는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11.

제 5 항에 있어서,

단계 g) 는 상기 편광 감쇠 차이의 추정값 $\overline{(A_{DP}(r))}$ 에 기초하여,식

$$\overline{I_2(r,R)}=\frac{\overline{A_{DP}(r)}}{\Delta r(k_H-k_V)}$$

(여기서, k_V 는 k_H 와 마찬가지로 제 2 일련의 측정값 ($Z_{Va}(r)$) 에 대한 소정의 파라미터) 에 따라서 상기 제 2 추정값 $\overline{(I_2(r,R))}$ 을 계산하는 단계로 이루어지는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12.

대기 수상에 의해 감쇠한 파장에서 펄스로 동작하고 강수율과 반사율을 결정 하는 이중 편광 기상 레이다에 있어서, 2 개의 직교 편광 채널 $(\vec{H},\vec{V})$ 에 대응하는 모드를 추출하는 수단 (2,3,4) 에 연결된 이중 편광 안테나 (1); 상기 안테나의 2 개의 채널에 펄스를 제공하는 트랜스미터 (5,6); 및 상기 2 개의 직교 편광 채널이 출력하는 신호를 처리하는 하나 이상의 수신 채널 (7,9,11,13,15,17,19;10,12,13,16,18,20) 을 구비하는 레이다로서,
제 1 항 내지 제 5 항 중의 어느 한 항에 따른 방법을 이용하도록 디자인한 디지털 신호 처리 장치 (21) 를 구비하는 것을 특징으로 하는 레이다.

청구항 13.

제 12 항에 있어서,
상기 수신 채널의 출력단에, 다이내믹 레인지를 증가시키는 대수 증폭기 (17,18) 를 포함하고,
상기 디지털 신호 처리 장치 (21) 는 수신한 신호값을 복구하기 위해 그 입력단에 변환수단 (30,36,40) 을 구비하는 것을 특징으로 하는 레이다.

청구항 14.

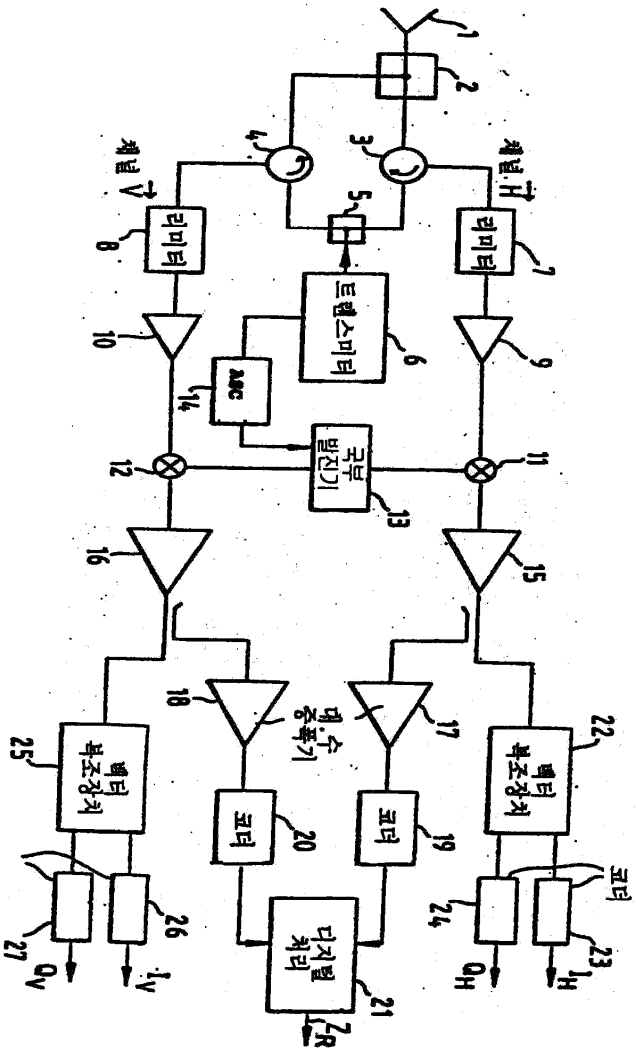
제 12 항에 있어서,
2 개의 편광에 대한 수신 채널의 출력단에 각각 연결되는 2 개의 도플러 수신 채널 (22 내지 24; 25 내지 27) 을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 레이다.

청구항 15.

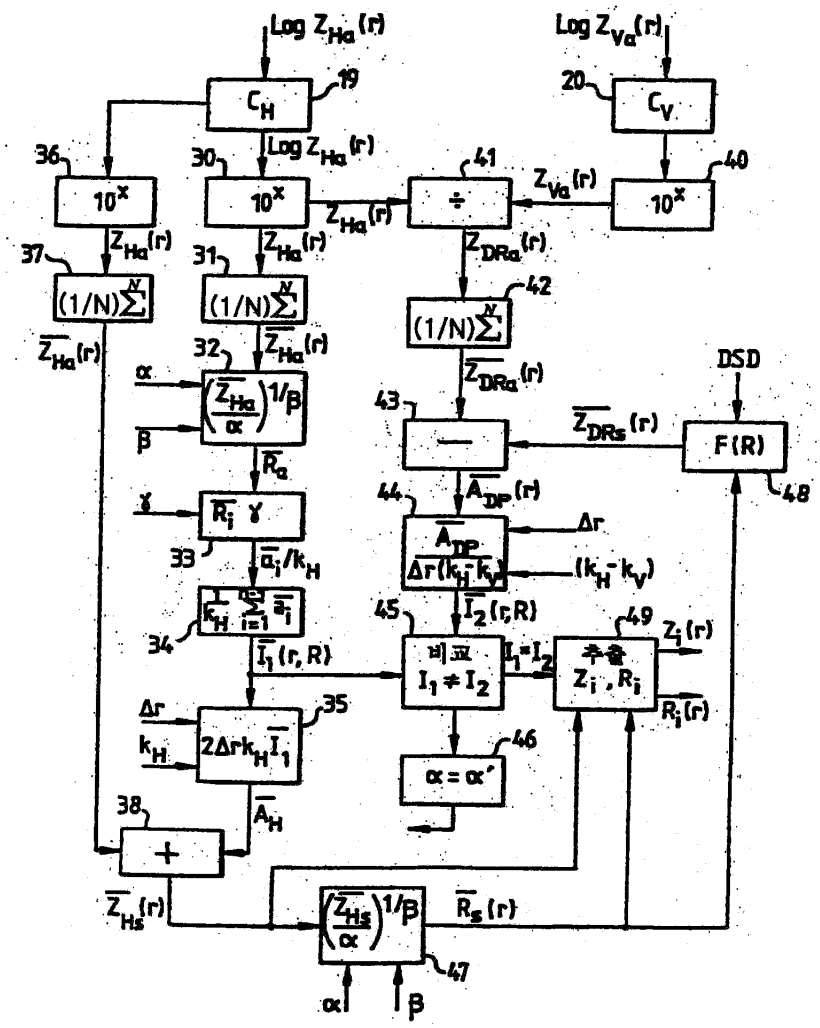
제 12 항에 있어서,
2 개의 편광을 교대로 처리하기 위해 동기적으로 제어되는 입력 및 출력 스위칭 수단과 연결되는 단일 수신 채널을 구비하고, 스위칭 속도는 스위칭 시간 동안 2 개의 편광에서 수신하는 신호가 비상관적이지 않을 정도인 것을 특징으로 하는 레이다.

도면

도면1


채널 V
채널 H
리미터
리미터
트랜스미터
AGC
국부 발진기
믹서
믹서
펄스 압축기
펄스 압축기
코더
코더
코더
디지털 처리기

도면2


Log $Z_{Ha}(r)$
Log $Z_{Va}(r)$
C_H
19
C_V
20
Log $Z_{Ha}(r)$
36
30
41
$Z_{Va}(r)$
40
10^x
10^x
÷
10^x
$Z_{Ha}(r)$
$Z_{Ha}(r)$
$Z_{DRa}(r)$
37
31
42
$(1/N)\sum$
$(1/N)\sum$
$(1/N)\sum$
$\overline{Z_{Ha}}(r)$
$\overline{Z_{Ha}}(r)$
$\overline{Z_{DRa}}(r)$
32
43
DSD
α
$\left(\frac{\overline{Z_{Ha}}}{\alpha}\right)^{1/\beta}$
—
$\overline{Z_{DRs}}(r)$
F(R)
β
$\overline{R_a}$
48
γ
$\overline{R_i}\ \gamma$
44
$\overline{A_{DP}}(r)$
Δr
33
$\overline{\alpha_i}/k_H$
$\frac{\overline{A_{DP}}}{\Delta r(k_H-k_V)}$
(k_H-k_V)
$\frac{1}{c_H}\sum_{i=1}^{n}\overline{a_i}$
45
$\overline{I_2}(r,R)$
49
$Z_i(r)$
34
$\overline{I_1}(r,R)$
비교
$I_1 \neq I_2$
$I_1=I_2$
추출
Z_i, R_i
$\overline{R_i}(r)$
Δr
35
$2\Delta r k_H \overline{I_1}$
46
k_H
$\alpha=\alpha'$
38
$\overline{A_H}$
+
$\overline{Z_{Hs}}(r)$
$\left(\frac{\overline{Z_{Hs}}}{\alpha}\right)^{1/\beta}$
$\overline{R_s}(r)$
47
α
β