



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년10월21일
(11) 등록번호 10-2034994
(24) 등록일자 2019년10월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/47 (2006.01) G01N 33/24 (2006.01)
G01W 1/10 (2006.01) G06F 17/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 21/47 (2013.01)
G01N 33/246 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0072654
(22) 출원일자 2019년06월19일
심사청구일자 2019년06월19일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020180061823 A*
권영주, '다양한 스펙트럼에서의 산란 기반 원격 탐사기법 연구 및 응용' (세종대학교 대학원, 박사학위논문, 2019.02.28.)
KR1020180074960 A
KR1020110100970 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
홍성욱
서울특별시 양천구 목동로 212, 723동 1404호(목동, 목동신시가지아파트7단지)
(74) 대리인
송인호, 최관락

전체 청구항 수 : 총 7 항

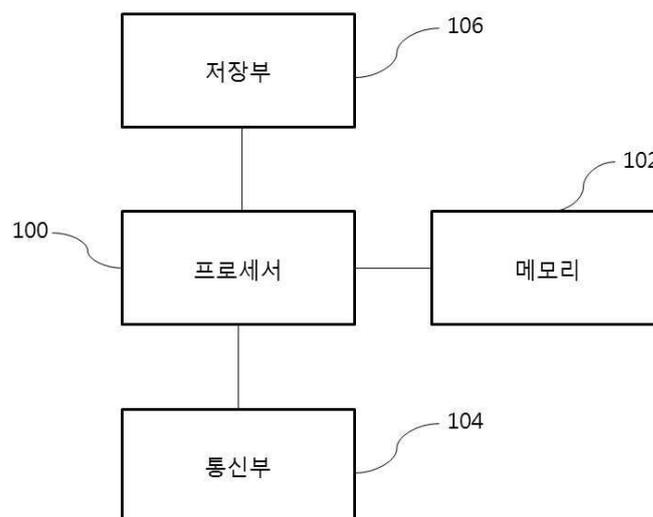
심사관 : 장일석

(54) 발명의 명칭 GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 산출 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 산출 방법 및 장치를 개시한다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, GPS 위성의 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 측정 장치로서, 프로세서; 및 상기 프로세서에 연결되는 메모리를 포함하되, 상기 메모리는, 상기 GPS 위성의 고도각의 변화에 따른 토양으로부터 반사되는 GPS 반사파 신호인 LHCP 신호의 SNR을 획득하고, 상기 고도각의 변화에 따른 SNR에 상응하는 회귀식을 산출하고, 서로 다른 토양 수분량에서 미리 계산된 고도각에 따른 LHCP 신호의 SNR의 민감도에 대한 이론값에서, 상기 회귀식에 따른 직선 또는 곡선의 상대적 위치를 이용하여 평균 토양 수분량을 결정하도록, 상기 프로세서에 의해 실행 가능한 프로그램 명령어들을 저장하는 GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 측정 장치가 제공된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01W 1/10 (2013.01)

G06F 17/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1365003022

부처명 기상청

연구관리전문기관 한국기상산업기술원

연구사업명 기상·지진See-At기술개발연구(R&D)

연구과제명 GPS 반사파 신호를 이용한 토양수분 정보 산출 기술개발

기여율 1/1

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2019.01.01 ~ 2019.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

GPS 위성의 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 측정 장치로서,

프로세서; 및

상기 프로세서에 연결되는 메모리를 포함하되,

상기 메모리는,

상기 GPS 위성의 고도각의 변화에 따른 토양으로부터 반사되는 GPS 반사파 신호인 LHCP 신호의 SNR을 획득하고,

상기 GPS 위성의 고도각을 변수로 하는 각 고도각에서의 LHCP 신호의 SNR에 대한 다항식으로 구성된 회귀식을 산출하고,

서로 다른 토양 수분량에서 미리 계산된 고도각에 따른 LHCP 신호의 SNR의 민감도에 대한 이론값에서, 상기 회귀식에 따른 직선 또는 곡선의 상대적 위치를 이용하여 평균 토양 수분량을 결정하도록,

상기 프로세서에 의해 실행 가능한 프로그램 명령어들을 저장하는 GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 측정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 이론값은,

수직/수평 편광계수와 굴절률과의 관계식, 수직/수평 편광계수로 표현한 RHCP/LHCP 신호의 반사도에 관한 관계식 및 토양 수분량과 유전률과의 관계식을 통해 결정되는 GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 측정 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 수직/수평 편광계수와 굴절률과의 관계식은 아래의 수학식으로 정의되는 GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 측정 장치.

[수학식]

$$r_V = \frac{\cos\theta - \sqrt{\hat{n}^2 - \sin^2\theta}}{\cos\theta + \sqrt{\hat{n}^2 - \sin^2\theta}}, r_H = \frac{\hat{n}^2 \cdot \cos\theta - \sqrt{\hat{n}^2 - \sin^2\theta}}{\hat{n}^2 \cdot \cos\theta + \sqrt{\hat{n}^2 - \sin^2\theta}}$$

여기서, r_V 는 수직 편광 반사계수, r_H 는 수평 편광 반사계수를 나타내고, θ 는 지표면(토양)에서 반사되는 GPS 반사파 신호의 각도(고도각)이고, \hat{n} 는 토양의 굴절지수(refractive index, 굴절률) 또는 유전상수(Dielectric constant)임

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 수직/수평 편광계수로 표현한 RHCP/LHCP 신호의 반사도에 관한 관계식은 아래의 수학식으로 정의되는 GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 측정 장치.

[수학식]

$$R_{RR} = \left| \frac{r_V + r_H}{2} \right|^2, R_{RL} = \left| \frac{r_V - r_H}{2} \right|^2$$

R_{RR} 는 GPS 위성이 송신하는 RHCP 신호가 그대로 RHCP 신호로 반사되는 정도이고, R_{RL} 는 LHCP 신호로 반사되는 정도임

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 회귀식은 아래의 수학식을 정의되는 GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 측정 장치.

[수학식]

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

여기서 y는 GPS 반사파 신호 수신 장치에서 관측한 LHCP의 SNR(단위: dB)이며, x는 관측된 GPS 위성의 고도각(단위:°)임

청구항 6

GPS 위성의 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 측정 방법으로서,

상기 GPS 위성의 고도각의 변화에 따른 토양으로부터 반사되는 GPS 반사파 신호인 LHCP 신호의 SNR을 획득하는 단계;

상기 GPS 위성의 고도각을 변수로 하는 각 고도각에서의 LHCP 신호의 SNR에 대한 다항식으로 구성된 회귀식을 산출하는 단계; 및

서로 다른 토양 수분량에서 미리 계산된 고도각에 따른 LHCP 신호의 SNR의 민감도에 대한 이론값에서, 상기 회귀식에 따른 직선 또는 곡선의 상대적 위치를 이용하여 평균 토양 수분량을 결정하는 단계를 포함하는 GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 측정 방법.

청구항 7

제6항에 따른 방법을 수행하는 기록매체에 저장되는 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 산출 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 기존에는 토양 수분량을 측정하기 위해 전기저항 방식 센서들을 이용하여 직접 토양에 탐침기를 설치하고 전기를 흘려 유전율의 변화를 이용하여 매우 짧은 거리 내의 토양 수분량을 측정하였다.

[0003] 또한 전기저항 방식의 센서는 토양의 위치와 탐침의 깊이에 따라 크게 변화하는 단점이 있다.

[0004] GPS(Global Positioning System)는 전 세계에서 무료로 사용되는 범 지구위성항법 시스템으로, 항법, 측량, 지도제작, 군사, 시각 동기, 대기과학 등 다양한 목적으로 사용되는 등 그 활용 범위가 매우 높다는 장점이 있다.

[0005] GPS 위성에서 송신하는 전자기파의 파장은 마이크로파 1.5GHz 영역으로 RHCP (Right-Handed Circular Polarization)라는 원형 편광(Polarization)의 속성을 가지고 있으나, 신호가 지구 표면에 반사할 때, 지표의 물성에 따라서 일부는 LHCP (Left-Handed Circular Polarization) 신호로 변경되어 반사된다.

[0006] 그러나 GPS 반사파 신호는 수신 각도와 수신 높이에도 영향을 많이 받게 되고, 주변의 건물이나 나무 등 물체들에서 여러 번 산란되어 들어오는 멀티패스의 영향도 많이 받게 되어 그 신호의 분석이 매우 어려운 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) KR 등록특허 10-1293741

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 상기한 종래기술의 문제점을 해결하기 위해, 본 발명은 GPS 반사파 신호 (마이크로파)의 강도가 토양 수분량에 따라 다르게 변한다는 물리적 성질을 이용하여, GPS 반사파 신호로부터 토양 수분량을 산출해 내는 방법 및 장치를 제안하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따르면, GPS 위성의 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 측정 장치로서, 프로세서; 및 상기 프로세서에 연결되는 메모리를 포함하되, 상기 메모리는, 상기 GPS 위성의 고도각의 변화에 따른 토양으로부터 반사되는 GPS 반사파 신호인 LHCP 신호의 SNR을 획득하고, 상기 고도각의 변화에 따른 SNR에 상응하는 회귀식을 산출하고, 서로 다른 토양 수분량에서 미리 계산된 고도각에 따른 LHCP 신호의 SNR의 민감도에 대한 이론값에서, 상기 회귀식에 따른 직선 또는 곡선의 상대적 위치를 이용하여 평균 토양 수분량을 결정하도록, 상기 프로세서에 의해 실행 가능한 프로그램 명령어들을 저장하는 GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 측정 장치가 제공된다.

[0010] 상기 이론값은, 수직/수평 편광계수와 굴절률과의 관계식, 수직/수평 편광계수로 표현한 RHCP/LHCP 신호의 반사도에 관한 관계식 및 토양 수분량과 유전률과의 관계식을 통해 결정될 수 있다.

[0011] 상기 수직/수평 편광계수와 굴절률과의 관계식은 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

[0012] [수학식]

$$r_V = \frac{\cos\theta - \sqrt{\hat{n}^2 - \sin^2\theta}}{\cos\theta + \sqrt{\hat{n}^2 - \sin^2\theta}}, r_H = \frac{\hat{n}^2 \cdot \cos\theta - \sqrt{\hat{n}^2 - \sin^2\theta}}{\hat{n}^2 \cdot \cos\theta + \sqrt{\hat{n}^2 - \sin^2\theta}}$$

[0014] 여기서, r_V 는 수직 편광 반사계수, r_H 는 수평 편광 반사계수를 나타내고, θ 는 지표면(토양)에서 반사되는 GPS 반사파 신호의 각도(고도각)이고, \hat{n} 는 토양의 굴절지수(refractive index, 굴절률) 또는 유전상수(Dielectric constant)임

[0015] 상기 수직/수평 편광계수로 표현한 RHCP/LHCP 신호의 반사도에 관한 관계식은 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

[0016] [수학식]

$$R_{RR} = \left| \frac{r_V + r_H}{2} \right|^2, R_{RL} = \left| \frac{r_V - r_H}{2} \right|^2$$

[0018] R_{RR} 는 GPS 위성이 송신하는 RHCP 신호가 그대로 RHCP 신호로 반사되는 정도이고, R_{RL} 는 LHCP 신호로 반사되는 정도임

[0019] 상기 회귀식은 아래의 수학식을 정의될 수 있다.

[0020] [수학식]

[0021]
$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

[0022] 여기서 y는 GPS 반사파 신호 수신 장치에서 관측한 LHCP의 SNR(단위: dB)이며, x는 관측된 GPS 위성의 고도각(단위:°)임

[0023] 본 발명의 다른 측면에 따르면, GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 측정 방법으로서, 상기 GPS 위성의 고도각의 변화에 따른 토양으로부터 반사되는 GPS 반사파 신호인 LHCP 신호의 SNR을 획득하는 단계; 상기 고도각의 변화에 따른 SNR에 상응하는 회귀식을 산출하는 단계; 및 서로 다른 토양 수분량에서 미리 계산된 고도각에 따른 LHCP 신호의 SNR의 민감도에 대한 이론값에서, 상기 회귀식에 따른 직선 또는 곡선의 상대적 위치를 이용하여 평균 토양 수분량을 결정하는 단계를 포함하는 GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 측정 방법이 제공된다.

[0024] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 상기한 방법을 수행하는 기록매체에 저장되는 프로그램이 제공된다.

발명의 효과

[0025] 본 발명에 따르면, 미리 계산된 값과, 멀티패스를 고려하여 소정 관계식으로 변환한 현재 측정값을 이용하여 토양 수분량을 정확히 산출할 수 있는 장점이 있다.

[0026] 또한, 본 발명에 따르면, 무료이며 전 세계 어디서 수신 가능한 GPS 위성을 활용하기 때문에 간단한 방법으로 토양의 수분량을 산출할 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 산출 장치의 구성을 도시한 도면이다.

도 2는 본 실시예에 따른 반사파 신호 수신 장치의 설치 상태를 도시한 도면이다.

도 3은 본 실시예에 따른 반사파 신호 수신 장치의 구성을 도시한 도면이다.

도 4는 RHCP와 LHCP 신호가 거울상처럼 매끈한 지면일 때, 토양 수분량에 따라 변하는 민감도를 이론적으로 나타낸 도면이다.

도 5는 표면 거칠기 및 멀티패스 등을 고려한 현실적인 토양 조건에서, 위성의 각도(고도각, x축) 및 토양 수분량에 따른 GPS 반사파 신호인 RHCP와 LHCP 신호의 SNR 값(y축)을 나타낸 것이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 LHCP 신호의 SNR 변화를 이론적 계산값 위에 중첩하여 평균 토양 수분량을 산출한 결과를 도시한 것이다.

도 7은 도 6의 본 실시예에 따른 방법으로 산출한 토양 수분량과 탐침형 토양 수분량 측정기 4대로 토양 수분량들의 비교 검증 결과의 예이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다.

[0029] 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0031] 본 발명은 GPS 위성에서 송신하는 원형 편광 마이크로파가 토양에서 반사되는 신호를 이용하여 토양의 수분량(상대적 수분량)을 산출한다.

[0032] GPS 위성이 송신하는 원형 편광 마이크로파는 RHCP 신호이며, 토양에서 반사되는 경우 RHCP 신호 중 일부가 LHCP 신호로 변환되어 반사되며, 본 실시예에 따른 토양 수분량 산출 장치는 토양으로부터 반사되어 반사파 신호인 LHCP 신호를 수신 및 처리하여 토양의 수분량을 산출한다.

[0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 GPS 반사파 신호를 이용한 토양 수분량 산출 장치의 구성을 도시한 도면이

다.

- [0034] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 실시예에 따른 토양 수분량 산출 장치는 프로세서(100), 메모리(102) 및 통신부(104)를 포함할 수 있으며, 통신부(104)를 반사파 신호 수신 장치(110)로부터 토양에서 반사된 GPS 반사파 신호를 수신한다.
- [0035] 여기서, 반사파 신호 수신 장치(110)는 도 2에 도시된 바와 같이, 관측대상이 되는 토양의 소정 위치에 고정 설치되어 GPS 위성이 송신하는 신호 및 토양으로부터 반사되는 GPS 반사파 신호를 수신할 수 있다.
- [0036] 그러나, 이에 한정됨이 없이 반사파 신호 수신 장치(110)는 차량, 드론 또는 항공기 등에 이동 가능하게 설치될 수도 있다.
- [0037] 또한, 토양 수분량 산출 장치가 반사파 신호 수신 장치 내에 내장되는 경우 통신부(104)는 구비하지 않을 수 있다.
- [0038] 도 3은 본 실시예에 따른 반사파 신호 수신 장치의 구성을 도시한 도면이다.
- [0039] 도 3에 도시된 바와 같이, 반사파 신호 수신 장치는 GPS 위성이 송신하는 RHCP 신호(직접 신호)를 수신하는 제1 안테나(200), 토양으로부터 반사되는 RHCP 신호 및 LHCP 신호를 수신하는 제2 안테나(302)를 포함할 수 있다. 여기서, 제1 및 제2 안테나(300,302)는 패치안테나일 수 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0040] 제1 안테나(300) 및 제2 안테나(302)를 통해 수신된 신호는 RF 전단부(304)로 입력되어 필터링 및 증폭된다.
- [0041] GPS 신호 처리부(306)는 RF 전단부(304)에서 입력된 GPS 반사파 신호의 SNR 변환을 수행하고, 신호를 송신한 위성의 고도각 정보를 획득한다.
- [0042] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 토양 수분량 산출을 위해 고도각에 따른 토양에서 반사된 LHCP 신호를 이용하며, 이에 따라 GPS 신호 처리부(306)는 LHCP 신호의 SNR을 산출한다.
- [0043] 도 4는 RHCP와 LHCP 신호가 거울상처럼 매끈한 지면일 때, 토양 수분량에 따라 변하는 민감도를 이론적으로 나타낸 도면이다.
- [0044] 도 4에 도시된 바와 같이, 토양 수분량이 0.1(즉 10%), 0.6(즉 60%)일 때를 가정하여 계산된 결과를 보여준다. 즉, 토양에서 반사된 LHCP 신호가 RHCP 신호에 비해 토양 수분량에 민감함을 알 수 있다.
- [0045] 산출된 LHCP 신호의 SNR 정보, 고도각 정보가 토양 수분량 산출 장치로 입력된다.
- [0046] 반사파 신호 수신 장치는 유선 또는 무선 네트워크를 통해 고도각에 따른 LHCP 신호의 SNR을 토양 수분량 산출 장치로 전송할 수 있다.
- [0047] 토양 수분량 산출 장치는 프로세서(100) 및 메모리(102)를 통해 고도각에 따른 LHCP 신호의 SNR을 이용하여 토양의 수분량을 산출한다.
- [0048] 프로세서(100)는 컴퓨터 프로그램을 실행할 수 있는 CPU(central processing unit)나 그밖에 가상 머신 등을 포함할 수 있다.
- [0049] 메모리(102)는 고정식 하드 드라이브나 착탈식 저장 장치와 같은 불휘발성 저장 장치를 포함할 수 있다. 착탈식 저장 장치는 콤팩트 플래시 유닛, USB 메모리 스틱 등을 포함할 수 있다. 메모리(102)는 각종 랜덤 액세스 메모리와 같은 휘발성 메모리도 포함할 수 있다.
- [0050] 이와 같은 메모리(102)에는 프로세서(100)에 의해 실행 가능한 프로그램 명령어들이 저장된다.
- [0051] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따르면, 메모리(102)는 GPS 위성의 고도각의 변화에 따른 토양으로부터 반사되는 GPS 반사파 신호인 LHCP 신호의 SNR을 획득하고, 고도각의 변화에 따른 SNR에 상응하는 회귀식을 산출하고, 서로 다른 토양 수분량에서 미리 계산된 고도각에 따른 LHCP 신호의 SNR의 민감도에 대한 이론값에서, 상기 회귀식에 따른 직선 또는 곡선의 상대적 위치를 이용하여 평균 토양 수분량을 결정하도록, 프로세서(100)에 의해 실행 가능한 프로그램 명령어들을 저장한다.
- [0052] 본 실시예에 따른 토양 수분량 산출 장치는 저장부(106)를 추가로 포함할 수 있으며, 저장부(106)에는 서로 다른 토양 수분량에서 미리 계산된 고도각에 따른 LHCP 신호의 SNR의 민감도에 대한 이론값을 저장한다.
- [0053] 본 실시예에 따르면, 상기한 이론값은 선형 편광 반사계수, GPS 위성의 신호의 RHCP 신호 또는 LHCP 신호로의

반사도 및 굴절지수와 토양 수분량의 관계식을 이용하여 결정될 수 있다.

[0054] 이하에서는 본 실시예에 따른 서로 다른 토양 수분량에서 미리 계산된 고도각에 따른 LHCP 신호의 SNR의 민감도에 대한 이론값의 도출 과정을 상세하게 설명한다.

[0055] 아래 수학적 식 1은 선형 편광 계수의 반사계수를 나타낸 것이다.

수학적 식 1

[0056]
$$r_V = \frac{\cos\theta - \sqrt{\hat{n}^2 - \sin^2\theta}}{\cos\theta + \sqrt{\hat{n}^2 - \sin^2\theta}}, r_H = \frac{\hat{n}^2 \cdot \cos\theta - \sqrt{\hat{n}^2 - \sin^2\theta}}{\hat{n}^2 \cdot \cos\theta + \sqrt{\hat{n}^2 - \sin^2\theta}}$$

[0057] 여기서, r_V 는 수직 편광 반사계수, r_H 는 수평 편광 반사계수를 나타내고, θ 는 지표면(토양)에서 반사되는 GPS 반사파 신호의 각도(고도각)이고, \hat{n} 는 토양의 굴절지수(refractive index, 굴절률) 또는 유전상수(Dielectric constant)를 의미한다.

[0058] 그리고, 다음 수학적 식 2는 GPS 위성이 송신하는 RHCP 신호가 그대로 RHCP 신호로 반사되는 정도(R_{RR}), LHCP 신호로 반사되는 정도(R_{RL})를 나타낸 것이다.

수학적 식 2

[0059]
$$R_{RR} = \left| \frac{r_V + r_H}{2} \right|^2, R_{RL} = \left| \frac{r_V - r_H}{2} \right|^2$$

[0060] 본 실시예에 따른 RHCP 및 LHCP 신호는 원형 편광 마이크로파로서, 이는 수직 및 수평 편광의 반사계수의 조합으로 표현할 수 있다.

[0061] 본 실시예에서는 토양의 수분량이 토양에서 반사되는 LHCP 신호에 민감하다는 물리적 성질을 고려하여 R_{RL} 를 측정값으로 이용한다.

[0062] 본 실시예에 따르면, 상기한 수학적 식 1 및 2와 토양 수분량 및 굴절률(유전율)과의 관계식을 이용하여 이론값을 산출한다.

[0063] 토양 수분량 및 굴절률(또는 유전율)과의 관계식은 다음과 같이 Dobson 식이 이용될 수 있다.

수학적 식 3

[0064]
$$\epsilon^\alpha = 1 + \frac{\rho_b}{\rho_s} (\epsilon_s^\alpha - 1) + m_v^\alpha \epsilon_{fw}^\alpha - m_v$$

[0065] 여기서 ϵ 는 dielectric constant for soil (토양의 유전상수), ρ_b 는 the bulk of density of the soil (~1.3 g/cm^3), ρ_s 는 the special density of the soil (2.664 g/cm^3), ϵ_s 는 dielectric constant of dry soil (~4.7), ϵ_{fw} 는 dielectric constant of water, $\alpha=0.65$, $\beta=\beta'-\beta''$, $\beta'=(127.48-0.519S-0.512C)/100$, $\beta''=(1.33787-0.603S-0.166C)/100$ 이다. S와 C는 모래(Sand)와 점

토(Clay)의 퍼센트값이고, m_v 는 토양 수분량을 의미하며 단위는 m^3/m^3 이다.

- [0066] 수학식 3은 토양 수분량과 유전률과의 관계를 나타낸 것이고, 수학식 1은 수직/수평 편광계수와 굴절률과의 관계를 나타낸 것이며, 수학식 2는 수직/수평 편광계수로 표현한 RHCP/LHCP의 반사도이므로, 유전률과 굴절률의 관계 및 수학식 1 내지 3을 통해, 서로 다른 토양 수분량에서 미리 계산된 고도각에 따른 LHCP 신호의 SNR의 민감도에 대한 이론값을 계산할 수 있다.
- [0067] 도 5는 표면 거칠기 및 멀티패스 등을 고려한 현실적인 토양 조건에서, 위성의 각도(고도각, x축) 및 토양 수분량에 따른 GPS 반사와 신호인 RHCP와 LHCP 신호의 SNR 값(y축)을 나타낸 것이다.
- [0068] 도 5는 서로 다른 토양 수분량에서, 위성의 고도각(x축) 및 RHCP와 LHCP 신호의 민감도를 상기한 수학식 3을 이용하여 이론적으로 계산한 것이다.
- [0069] 도 5에 도시된 바와 같이, RHCP 신호에 비해, LHCP 신호가 토양 수분량에 따라 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다.
- [0070] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 LHCP 신호의 SNR 변화를 이론적 계산값 위에 중첩하여 평균 토양 수분량을 산출한 결과를 도시한 것이다.
- [0071] 토양 수분량을 산출하기 위해 아래와 같은 회귀식이 사용될 수 있다.

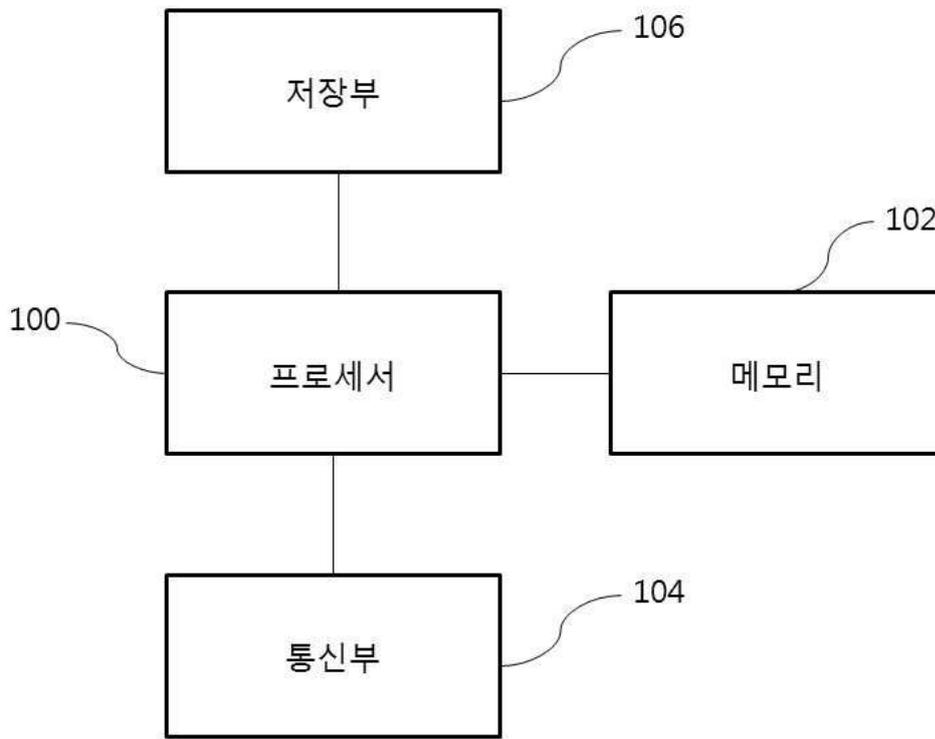
수학식 4

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

- [0072] $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$
- [0073] 여기서 y는 GPS 반사와 신호 수신 장치에서 관측한 LHCP의 SNR(단위: dB)값이며, x는 관측된 GPS 위성의 고도각(단위:°)이다.
- [0074] 도 6을 참조하면, 시간의 변화에 따라 위성의 고도각이 변화하며 멀티패스 등으로 인해, LHCP 신호의 SNR의 편차가 크게 변화하는 것을 알 수 있다.
- [0075] 본 실시예에 따르면, 실제로 관측된 위성의 고도각에 따른 LHCP 신호의 SNR을 수학식 4와 같은 회귀식에 산출하고, 서로 다른 토양 수분량에서 미리 계산된 고도각에 따른 LHCP 신호의 SNR의 민감도에 대한 이론값에서, 상기한 회귀식에 따른 직선 또는 곡선(600)의 상대적 위치를 이용하여 토양 수분량을 산출한다.
- [0076] 여기서, 회귀식에 따른 직선 또는 곡선은 관측된 LHCP 신호의 SNR의 시간 평균 값으로 정의할 수 있다.
- [0077] 도 6에서는 토양 수분량의 0.1 내지 0.6의 이론적 계산값만을 도시하였으나, 이에 한정됨이 없이 0 내지 1까지 범위에서 소정 간격으로 이론적 계산값이 미리 결정될 수 있으며, 회귀식도 2차식이 아닌 1차식 또는 그밖에 다항식이 사용될 수도 있다.
- [0078] 도 7은 도 6의 본 실시예에 따른 방법으로 산출한 토양 수분량과 탐침형 토양 수분량 측정기 4대로 토양 수분량들의 비교 검증 결과의 예이다.
- [0079] 도 7a는 관측 가능했던 GPS 위성 7대, 즉, 02, 06, 09, 17, 19, 23, 28번 GPS 위성들의 반사와 신호를 이용해 산출한 토양 수분량이고, 결과적으로 평균 토양수분 값은 0.259이다.
- [0080] 도 7b는 탐침형 토양 수분량 측정기(Sensor1,2,3,4)로 밭에서 직접 관측한 토양 수분량들의 변화로써, 평균 토양 수분량은 0.237이다. 결과적으로 본 발명에서 제시하는 방법은 토양 수분량 측정에 매우 정확함을 알 수 있다.
- [0081] 상기한 본 발명의 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대한 통상의 지식을 가지는 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

도면

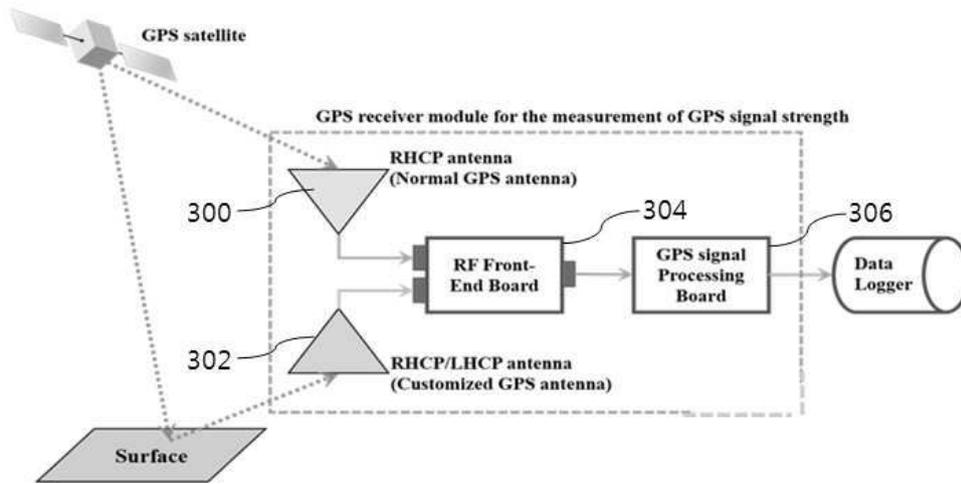
도면1



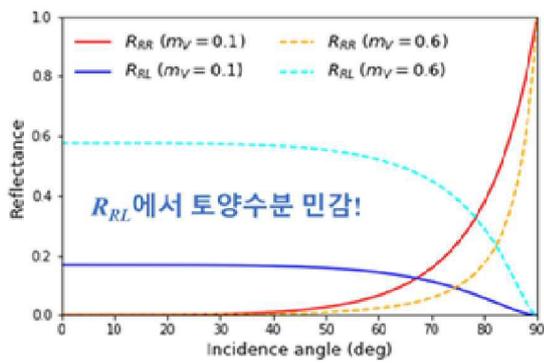
도면2



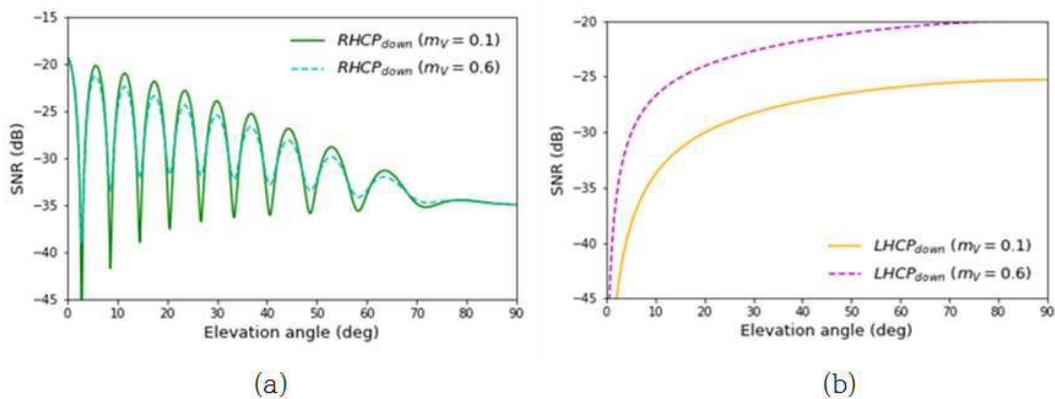
도면3



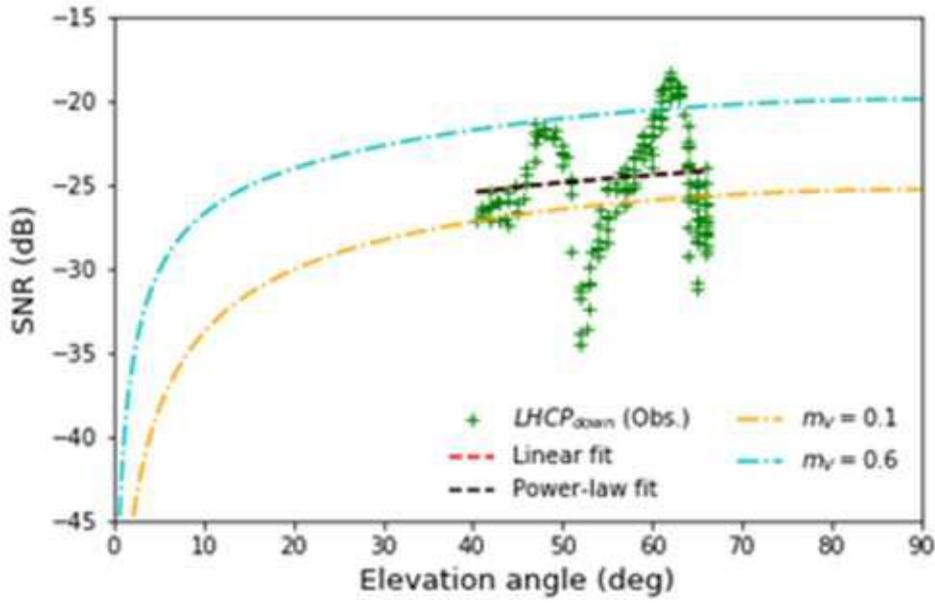
도면4



도면5



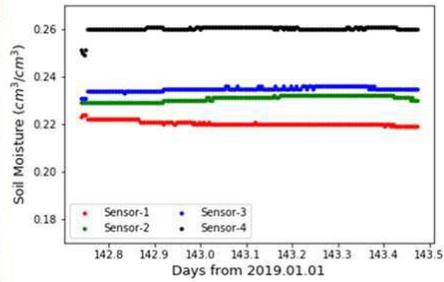
도면6



도면7

PRN	고도각 범위	토양수분 (cm ³ /cm ³)
02	7° ~ 42°	0.148
06	41° ~ 66°	0.284
09	12° ~ 47°	0.299
17	47° ~ 81°	0.187
19	52° ~ 87°	0.278
23	21° ~ 32°	0.175
28	5° ~ 47°	0.442

(a)



(b)