(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0092793
(43) 공개일자 2018년08월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01V 3/12 (2006.01) *G01S 13/88* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01V 3/12 (2013.01)
G01S 13/88 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0078026
(22) 출원일자 2017년06월20일
심사청구일자 2017년06월20일
(30) 우선권주장
1020170018772 2017년02월10일 대한민국(KR)

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
안윤규
서울특별시 동대문구 한천로 248, 113동 1106호 (휘경동, 주공아파트)
강만성
서울특별시 중랑구 사가정로45길 3-8 (면목동)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

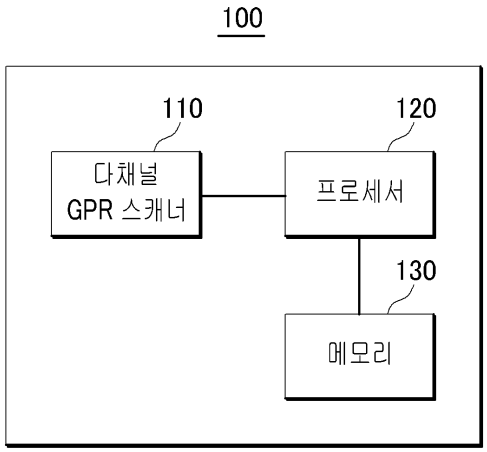
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **3D 지표투과 레이더 신호 처리 장치 및 방법**

(57) 요 약

3차원 지표투과 레이더 신호 처리 장치 그 방법을 제공하되, 지표에 복수의 채널 별로 전자기 펄스파를 가진하여 가진된 전자기 펄스파에 대응된 반사 신호를 계측하여 다채널 GPR 신호를 획득하고, 상기 다채널 GPR 신호에 대해 깊이 방향으로의 거리 및 주파수에 따른 신호 감쇄를 보상하는 가중치를 적용하고, 각 채널 별로 비손상구간에서 계측된 기준 신호를 설정하고, 가중치가 적용된 GPR 신호 및 기준 신호를 BP(Basis Pursuit) 변환하고, BP 영역에서 기준 신호를 이용하여 GPR 신호의 노이즈를 제거하고, 노이즈가 제거된 GPR 신호를 시간 영역으로 역BP(inverse Basis Pursuit) 변환하고, 역BP 변환된 다채널 GPR 신호들에 기초하여 3차원 이미지를 생성 및 출력한다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
G01V 2210/142 (2013.01)
G01V 2210/62 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 16TLRP-C099510-02
부처명 국토교통부
연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원
연구사업명 교통물류연구사업
연구과제명 도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발
기 여 율 1/1
주관기관 세종대학교 산학협력단
연구기간 2015.07.14 ~ 2019.05.13

명 세 서

청구범위

청구항 1

3차원 지표투과 레이더(Ground Penerating Radar, GPR) 신호 처리 장치에 있어서,

지표에 복수의 채널 별로 전자기 펄스파를 가진하고, 가진된 전자기 펄스파에 대응된 반사 신호를 계측하는 다채널 GPR 스캐너;

3차원 지표투과 레이더 신호 처리 프로그램이 저장된 메모리; 및

상기 메모리에 저장된 프로그램을 실행하는 프로세서를 포함하며,

상기 프로세서는 상기 3차원 지표투과 레이더 신호 처리 프로그램의 실행에 대응하여, 상기 다채널 GPR 스캐너로부터 다채널 GPR 신호를 획득하고, 상기 다채널 GPR 신호에 대해 깊이 방향으로의 거리 및 주파수에 따른 신호 감쇄를 보상하는 가중치를 적용하고, 각 채널 별로 비손상구간에서 계측된 기준 신호를 설정하고, 상기 가중치가 적용된 GPR 신호 및 기준 신호를 BP(Basis Pursuit) 변환하고, BP 영역에서 상기 기준 신호를 이용하여 노이즈를 제거하고, 상기 노이즈가 제거된 GPR 신호를 시간 영역으로 역BP(inverse Basis Pursuit) 변환하며, 상기 역BP 변환된 다채널 GPR 신호들에 기초하여 3차원 이미지를 생성 및 출력하는, 3차원 지표투과 레이더 신호 처리 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 프로세서는,

BP 영역 상에서 상기 기준 신호 및 상기 기준 신호 주변의 기설정된 범위 내 위상 시프트 신호를 위상 반전하여 위상 반전 신호를 재구성하고,

상기 재구성된 위상 반전 신호를 상기 BP 변환된 GPR 신호에 더하여 노이즈를 필터링하며,

상기 노이즈는 상기 기준 신호 계산시 발생된 오류에 의한 신호 및 지표면 반사 신호를 포함하는 것인, 3차원 지표투과 레이더 신호 처리 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 프로세서는,

각 채널 별로 초기 스캐닝 구간에서 계측된 GPR 신호를 상기 기준 신호로 설정하는, 3차원 지표투과 레이더 신호 처리 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 다채널 각각의 역BP 변환된 GPR 신호들을 공간에 대해 취합하여 3차원 이미지를 생성하는, 3차원 지표투과 레이더 신호 처리 장치.

청구항 5

3차원 지표투과 레이더(Ground Penerating Radar, GPR) 신호 처리 장치를 통한 3차원 지표투과 레이더 신호 처리 방법에 있어서,

지표에 복수의 채널 별로 전자기 펄스파를 가진하고, 가진된 전자기 펄스파에 대응된 반사 신호를 계측하여 다채널 GPR 신호를 획득하는 단계;

상기 다채널 GPR 신호에 대해 깊이 방향으로의 거리 및 주파수에 따른 신호 감쇄를 보상하는 가중치를 적용하는 단계;

각 채널 별로 비손상구간에서 계측된 기준 신호를 설정하는 단계;

상기 가중치가 적용된 GPR 신호 및 기준 신호를 BP(Basis Pursuit) 변환하는 단계;

BP 영역에서 상기 기준 신호를 이용하여 상기 GPR 신호의 노이즈를 제거하는 단계;

상기 노이즈가 제거된 GPR 신호를 시간 영역으로 역BP(inverse Basis Pursuit) 변환하는 단계; 및

상기 역BP 변환된 다채널 GPR 신호들에 기초하여 3차원 이미지를 생성 및 출력하는 단계를 포함하는, 3차원 지표투과 레이더 신호 처리 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 GPR 신호의 노이즈를 제거하는 단계는,

BP 영역 상에서 상기 기준 신호 및 상기 기준 신호 주변의 기설정된 범위 내 위상 시프트 신호를 위상 반전하여 위상 반전 신호를 재구성하는 단계; 및

상기 재구성된 위상 반전 신호를 상기 BP 변환된 GPR 신호에 더하여 노이즈를 필터링하는 단계를 포함하며,

상기 노이즈는 상기 기준 신호 계산 시 발생된 오류에 의한 신호 및 지표면 반사 신호를 포함하는 것인, 3차원 지표투과 레이더 신호 처리 방법.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 기준 신호를 설정하는 단계는,

각 채널 별로 초기 스캐닝 구간에서 계측된 GPR 신호를 상기 기준 신호로 설정하는, 3차원 지표투과 레이더 신호 처리 방법.

청구항 8

제 5 항에 있어서,

상기 3차원 이미지를 생성 및 출력하는 단계는,

상기 다채널 각각의 역BP 변환된 GPR 신호들을 공간에 대해 취합하여 3차원 이미지를 생성하는, 3차원 지표투과 레이더 신호 처리 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 지표투과 레이더(Ground Penerating Radar, GPR)를 통해 획득한 데이터를 분석하여 지표 직하 및 지

하 내부의 목적 대상을 탐지하는 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로, 지표투과 레이더(GPR)는 광대역의 임펄스 파형을 이용하여 지표면을 탐사하는 레이더이다. 이를 이용한 GPR 탐지 기법은, 광대역 전자기파를 지표면이나 구조물의 표면에 입사시킨 후, 연속적으로 매질 경계면에서 반사되어 되돌아오는 파(wave)를 수신한 결과에 기초하여 매질 특성을 영상화한다. 이를 통해 지하 매질에 존재하는 대상물의 위치, 물성, 크기, 경계 등을 찾아낼 수 있다.

[0003] 구체적으로, GPR 탐사 기법은 다른 탐사법에 비해 상대적으로 짧은 파장의 전자기파를 사용하므로 분해능이 높으며, 매질간의 유전율 차이에 의한 전자기파의 반사(Reflection)와 회절(diffraction) 현상 등을 측정하고 이를 해석하여 지하구조 및 시설물 등을 파악한다. 이러한 GPR 탐사 기법을 통해, 전자기파가 통과하는 매질에 따라 전자기파의 전파 속도, 파장 및 반사 특성이 달라지는 원리를 이용하여 대상물의 두께 및 위치, 매질 간 경계면, 내부 균열 및 공동(cavity)의 존재 등을 알 수 있다.

[0004] 한편, GPR을 이용한 비파괴 측정의 원리는, 지하 매질의 고유 특성중 하나인 유전율 차이에 의하여 발생하는 전자기파의 속도 변화, 회절 및 반사 등의 현상을 계측하여 분석함으로써 지하 구조를 파악하는 것이다.

[0005] 도 1은 일반적인 GPR 시스템을 통한 지하 동공 탐지 원리를 설명하기 위한 도면이다.

[0006] 도 1의 (a)에서와 같이, 일반적인 GPR 시스템은 송신 안테나(Tx)(10)를 통해 도로의 수직 방향으로 전자기 펄스파를 가진하고, 수신 안테나(Rx)(20)를 통해 가진 펄스파에 대응하는 반사 신호를 계측할 수 있다. 이처럼, 종래의 GPR 방식은 단채널(single channel) GPR을 진행 방향에 따라 스캐닝을 하는 것으로서, 스캐닝 결과 데이터를 공간 영역에 도시하면 도 1의 (b)와 같은 GPR 원 신호(original signal)에 대한 이미지 구축이 가능하다.

[0007] 그러나 도 1의 (a)에서와 같은 지하의 동공(30)을 탐지하고자 할 경우, 공기층과 도로 표면의 아스팔트 사이에서 가장 큰 유전율 차이가 발생되어 가장 지배적인 반사파가 발생한다. 이에 비해, 지하 내부에서는 도로 표면에 비하여 전자기파의 감쇄 현상이 두드러져, 수신 안테나(Rx)에 도달하는 동공(30)에 의한 반사파의 에너지량은 매우 작다. 이와 같은 현상에 의해, 도 1의 (b)에 도시된 바와 같은 GPR 스캐닝 결과 이미지에는 지표에 두드러진 반사파 에너지가 나타나게 되며, 이는 지하 구조를 파악하는데 큰 방해요소로 작용한다.

[0008] 이러한 현상을 극복하기 위하여, 종래에는 임의로 공기 중 아스팔트 영역에 대응하는 반사파를 제거하거나, 깊이에 따른 감쇄 보정 계수를 적용하여 신호를 해석하는 방법이 이용되고 있다. 이러한 신호 해석 시, 전문가가 직접 개입하여 확인하는 주관적 판단이 필요하여 해석 결과에서 오차가 발생할 수 있으며 시간적 소모가 크다는 단점이 있다. 예를 들어, 복잡한 도심지의 경우 현재 국내 수준에서 전문가 1인당 1~2㎞ 내외의 GPR 신호를 분석하는 데에만 하루 이상의 시간이 소요되는 상황이다.

[0009] 이와 관련하여, 대한민국 등록특허 제10-0365141호(발명의 명칭: 지피알 시스템을 이용한 지하매설물 탐측공법)에서는, 송신 펄스를 방사시키며 매질을 통과한 후 매설 물체에서 반사되어 돌아오는 신호를 받아들이는 단계와; 수신 안테나로부터 전송된 신호를 기록 및 저장하여, 신호가 기록되는 최초 시간, 아날로그 신호인 수신 신호의 디지털 샘플링 간격, 신호가 기록되는 전체시간범위, 스태킹 횟수 등 탐사에 필요한 여러 변수들에 적합한 송수신 펄스를 발생시켜 증폭시킨 후 송신 안테나를 통해서 방사하며, 수신 안테나를 통해 수신된 신호를 증폭시켜서 기록함과 아울러 샘플링 간격 및 트래이스 당 샘플링 간격 및 개수를 결정하는 단계와; 획득한 펄스 자료를 영상으로 구현시키며, 처리된 데이터를 대상으로 고해상도의 화면을 다양한 구현 색상을 적용하여 보다 높은 분해능의 단면도를 나타내는 단계를 포함하는, GPR 시스템을 이용한 지하매설물 탐측 공법을 개시하고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 일 실시예는 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 지표 직하 및 지하 내부의 목적 대상을 탐지하는 3D GPR 신호 처리 장치 및 그 방법을 제공하고자 한다.

[0011] 다만, 본 실시예가 이루고자 하는 기술적 과제는 상기된 바와 같은 기술적 과제로 한정되지 않으며, 또 다른 기술적 과제들이 존재할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상술한 기술적 과제를 달성하기 위한 기술적 수단으로서, 본 발명의 일 측면에 따른 3차원 지표투과 레이더(Ground Penerating Radar, GPR) 신호 처리 장치는, 지표에 복수의 채널 별로 전자기 펄스파를 가진하고, 가진된 전자기 펄스파에 대응된 반사 신호를 계측하는 다채널 GPR 스캐너; 3차원 지표투과 레이더 신호 처리 프로그램이 저장된 메모리; 및 상기 메모리에 저장된 프로그램을 실행하는 프로세서를 포함하며, 상기 프로세서는 상기 3차원 지표투과 레이더 신호 처리 프로그램의 실행에 대응하여, 상기 다채널 GPR 스캐너로부터 다채널 GPR 신호를 획득하고, 상기 다채널 GPR 신호에 대해 깊이 방향으로의 거리 및 주파수에 따른 신호 감쇄를 보상하는 가중치를 적용하고, 각 채널 별로 비손상구간에서 계측된 기준 신호를 설정하고, 상기 가중치가 적용된 GPR 신호 및 기준 신호를 BP(Basis Pursuit) 변환하고, BP 영역에서 상기 기준 신호를 이용하여 노이즈를 제거하고, 상기 노이즈가 제거된 GPR 신호를 시간 영역으로 역BP(inverse Basis Pursuit) 변환하며, 상기 역BP 변환된 다채널 GPR 신호들에 기초하여 3차원 이미지를 생성 및 출력한다.

[0013] 그리고, 본 발명의 다른 측면에 따른 3차원 지표투과 레이더 신호 처리 방법은, 지표에 복수의 채널 별로 전자기 펄스파를 가진하고, 가진된 전자기 펄스파에 대응된 반사 신호를 계측하여 다채널 GPR 신호를 획득하는 단계; 상기 다채널 GPR 신호에 대해 깊이 방향으로의 거리 및 주파수에 따른 신호 감쇄를 보상하는 가중치를 적용하는 단계; 각 채널 별로 비손상구간에서 계측된 기준 신호를 설정하는 단계; 상기 가중치가 적용된 GPR 신호 및 기준 신호를 BP(Basis Pursuit) 변환하는 단계; BP 영역에서 상기 기준 신호를 이용하여 상기 GPR 신호의 노이즈를 제거하는 단계; 상기 노이즈가 제거된 GPR 신호를 시간 영역으로 역BP(inverse Basis Pursuit) 변환하는 단계; 및 상기 역BP 변환된 다채널 GPR 신호들에 기초하여 3차원 이미지를 생성 및 출력하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0014] 전술한 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면, 시간-공간 영역의 3D GPR 데이터를 BP 변환(Basis Pursuit Transformation)을 통해 BP 영역으로 변환하여 노이즈를 필터링한 후 다시 역BP 변환(Inverse BP Transformation)을 통해 시간-공간 영역으로 역변환함으로써, 도로 함몰 평가(Sinkhole Evaluation of Roads) 시 도로 포장층의 두께 여부와 상관없이 공기-지표면의 강한 반사 신호를 제거할 수 있다.

[0015] 또한, 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면 지하 내부의 목적 대상에 관련된 작은 반사 신호를 3D 영역에서 자동 추출하여 3D 데이터의 방향 별 상호 분석을 통하여 개략적인 지하 구조물의 형태 및 동공 여부를 파악할 수 있다. 이에 따라, 종래와 같은 전문가 기반의 임의적 신호 처리없이도 지하 구조를 기계적으로 자동 탐지할 수 있다.

[0016] 또한, 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면, GPR 신호의 계측과 동시에 자동화 프로세싱을 통해 지표 직하 및 지하의 목적 대상에 대한 탐지 및 3D 이미지가 처리됨으로써, 기존 전문가 기반의 분석 대비 시간 효율성 및 현장 적용성을 극대화할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 일반적인 GPR 시스템을 통한 지하 동공 탐지 원리를 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 3D GPR 신호 처리 장치의 구성을 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 3D GPR 신호를 취득하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 적용되는 탐지 목표에 의한 GPR 신호 및 기준 GPR 신호의 개념을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 적용되는 BP 변환을 설명하기 위한 개념도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 BP 영역에서의 노이즈 처리 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 적용되는 역 BP 변환을 설명하기 위한 개념도이다.

도 8a 내지 도 8c는 각각 동공 구간, 맨홀 구간 및 파이프 구간에 대해 GPR 채널을 프로세싱한 결과 및 그에 따른 이미지를 나타낸 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 3D GPR 신호 처리 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 본 발명을 명확하게 설명하기 위해 도면에서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다. 또한, 도면을 참고하여 설명하면서, 같은 명칭으로 나타낸 구성일지라도 도면에 따라 도면 번호가 달라질 수 있고, 도면 번호는 설명의 편의를 위해 기재된 것에 불과하고 해당 도면 번호에 의해 각 구성의 개념, 특징, 기능 또는 효과가 제한 해석되는 것은 아니다.

[0019] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미하며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0020] 본 명세서에 있어서 '부(部)' 또는 '모듈'이란, 하드웨어 또는 소프트웨어에 의해 실현되는 유닛(unit), 양방을 이용하여 실현되는 유닛을 포함하며, 하나의 유닛이 둘 이상의 하드웨어를 이용하여 실현되어도 되고, 둘 이상의 유닛이 하나의 하드웨어에 의해 실현되어도 된다.

[0021] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 지표투과 레이더(3D GPR) 신호 처리 장치 및 그 처리 방법에 대해서 상세히 설명하도록 한다.

[0022] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 3D GPR 신호 처리 장치의 구성을 나타낸 도면이다. 그리고 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 3D GPR 신호를 취득하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0023] 먼저, 도 2에 도시한 바와 같이, 3D GPR 신호 처리 장치(100)는 다채널 GPR 스캐너(110), 프로세서(120) 및 메모리(130)를 포함한다.

[0024] 다채널 GPR 스캐너(110)는 지표에 전자기 펄스파를 가진하는 송신 안테나와, 송신 안테나를 통해 가진된 전자기 펄스파에 대응된 반사 신호를 계측하는 수신 안테나의 쌍으로 이루어진 GPR 시스템이 복수개 포함된다. 즉, 다채널 GPR 스캐너(110)는 송신 안테나 및 수신 안테나 쌍을 포함하는 단채널 GPR 시스템이 복수개 포함된 것으로서, 이를 통해 다채널 GPR 신호를 계측할 수 있다.

[0025] 예를 들어 도 3을 참조하면, 다채널 GPR 스캐너(110)에 포함된 복수의 GPR 시스템(도 3에서는 "A1 ~ A20"으로 나타냄, 111)이 도로의 지표면 상에 일렬로 설치될 수 있다. 이처럼, 다채널 GPR 스캐너(110)에 포함된 복수의 GPR 시스템(111)이 각각 특정 방향(즉, 스캐닝 방향)을 따라 지표 하부를 스캐닝함으로써 3D GPR 데이터를 취득할 수 있다. 구체적으로, 하나의 GPR 시스템(111)이 지표로부터 깊이 방향의 GPR 신호를 획득한다. 이에 따라, 복수의 GPR 시스템(111)들을 통해 지표 상 임의의 수평 방향으로 일렬의 단채널 GPR 신호들을 획득함으로써, 획득된 복수의 단채널 GPR 신호들을 취합하여 3D GPR 데이터를 구축할 수 있다.

[0026] 다채널 GPR 스캐너(110)는 프로세서(120)의 제어에 따라 GPR 스캐닝을 처리한다. 이때, 프로세서(120)는 공간 해상도와 스캐닝 속도가 상호 반비례 관계인 특성에 기초하여, 목적하는 공간 해상도에 따라 스캐닝 속도를 조절할 수 있다. 또한, GPR 시스템(111)의 중심 주파수 및 가진 주파수의 범위에 기초하여 최대 탐사 깊이 및 탐사 가능 물질의 특성(예: 크기 등)이 달라지므로, 프로세서(120)는 목적하는 탐지 대상의 종류와 다채널 GPR 스캐너(110)의 중심 주파수 및 가진 주파수에 기초하여 스캐닝 속도를 설정할 수 있다.

[0027] 메모리(130)에는 3D GPR 신호 처리 프로그램이 저장되어 있다. 이때, 3D GPR 신호 처리 프로그램은 다채널 GPR 스캐닝을 처리하여 3D GPR 데이터를 취득하고, 취득된 3D GPR 데이터를 처리하여 목적 대상을 탐지하며, 3D GPR 데이터에 기초한 3D GPR 이미지를 생성 및 출력하는 알고리즘을 포함한다.

[0028] 프로세서(120)는 메모리(130)에 저장된 프로그램을 실행하여 그에 따른 각종 처리를 수행한다.

[0029] 구체적으로, 프로세서(120)는 3D GPR 신호 처리 프로그램의 실행에 대응하여 다음과 같은 동작 및 절차들을 수행할 수 있다.

[0030] 이하에서는 도 3에서와 같이 노면(즉, 도로 포장 표면)에 맨홀(manhole)이 존재하며, 지하에 캐비디(cavity) 및

파이프(pipe)가 다수 존재하는 상태에서 수행되는 것을 가정하여, 프로세서(120)를 통한 3D GPR 신호 처리를 설명하도록 한다.

[0031] 프로세서(120)는 다채널 GPR 스캐너(110)를 통해 취득된 3D GPR 데이터들에 대해 시간 영역 신호에 가중치를 적용한다. 이는, 지하의 목적 대상(즉, 지하의 동공 또는 지하 구조물 등)으로부터 반사된 GPR 신호는 흙을 매질로 하는 지하 내부에서 전자기 펄스파의 감쇄 특성에 의해 매우 작게 나타나므로, 지하 내부로부터의 신호를 유효한 신호로 변환하기 위한 절차이다.

[0032] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 적용되는 탐지 목표에 의한 GPR 신호 및 기준 GPR 신호의 개념을 설명하기 위한 도면이다.

[0033] 도 4를 참조하면, 공기(Air)와 아스팔트 영역(Pavement)에서 발생되는 지배적인 반사파의 영향으로, 지하의 목적 대상(도 4에서는 캐비티(Cavity)인 것을 나타냄)에 의한 반사 신호('캐비티 신호'라고 지칭함)의 구분이 어렵다. 따라서, 프로세서(120)는 계측된 반사 신호들에 도로의 깊이 방향으로 거리 및 주파수에 따라 변화하는 가중치를 곱하는 처리를 수행하여, 감쇄된 작은 값의 반사 신호(즉, 캐비티 신호)의 진폭을 증대시킴으로써 신호 해석이 가능하도록 한다.

[0034] 또한, 프로세서(120)는 단일 채널 GPR 데이터 별로 기준 신호(Reference signal)를 설정한다.

[0035] 이러한 기준 신호의 설정과 관련하여, 본 발명의 일 실시예에서는 다채널 GPR 스캐너(110)가 초기에 스캐닝하는 구간에는 함몰 등의 손상 또는 매설된 개체가 없는 상태인 것을 가정한다. 즉, 손상 또는 매설된 개체가 없는 지점에 다채널 GPR 시스템이 위치하며, 이때 프로세서(110)는 초기 스캐닝 지점 부근에서 기본 신호로 사용할 기준 신호를 선정할 수 있다.

[0036] 구체적으로, 도 4에 도시한 바와 같이, GPR 채널에서 초기 스캐닝 구간에는 캐비티 등의 손상이 없으며 이러한 초기 스캐닝 구간에서의 계측 신호를 기준 신호(Reference signal)로 선정한다. 이에 따라, GPR 채널마다 기준 신호는 상이할 수 있다. 이러한 기준 신호는, 이하에서 설명할 BP(Basis Pursuit) 영역에서의 필터링(filtering) 과정에서 에러 및 노이즈를 제거하기 위한 기준으로서 사용된다. 참고로, 프로세서(120)는 기계학습을 통해 GPR 채널 별로 정확도가 높은 기준 신호(Reference signal)를 선정할 수 있다.

[0037] 다음으로, 프로세서(120)는 공간 스캐닝한 데이터들(즉, 다채널 GPR 스캐너(110)를 통해 계측된 GPR 신호들)에 대해 기준 신호를 이용하여 BP 변환(Basis Pursuit Transformation)을 처리한다.

[0038] BP 변환은 선형 데이터 변환 중 하나로써, 예를 들면 도 5에서와 같이, 시간 영역(Time Domain) 신호를 BP 영역(BP Domain)에 분리하여 표현하는 변환법이다.

[0039] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 적용되는 BP 변환을 설명하기 위한 개념도이다.

[0040] 일반적으로, BP 변환에서는 이론상의 기준 신호(Reference signal)를 구성하여 BP 영역으로 표현하는데, 이때 기준 신호를 기준으로 각 시간 영역 신호의 진폭(Amplitude) 및 위상(Phase) 정보가 BP영역에 분산되어 표현된다. 본 발명의 일 실시예에서는 초기 스캐닝 구간에서 실제 계측된 GPR 신호를 기준 신호로 이용한다.

[0041] 한편, BP 변환은 일종의 수학적 최적화 문제로서 이를 풀기위해, 다채널 GPR 스캐너(110)를 통해 계측된 GPR 데이터들은 다음의 수학식 1 및 2를 만족해야 한다.

[0042] <수학식 1>

[0043] $$P_1 : \min \| \alpha \|_1 \; s.t. \; s = D\alpha$$

[0044] <수학식 2>

[0045] $$\alpha = T(s) \; at \; \alpha \in A, \; s \in S$$

[0046] 이때, 시간 영역(도 5에서는 "S"로 나타냄)에서의 GPR 신호 값인 s는 BP 영역(도 5에서는 "A"로 나타냄)에서 α로 새로 표현된다. 그리고, D는 기준 신호를 통해서 만든 딕셔너리(Dictionary)이다.

[0047] 예를 들어, GPR 신호의 시간 영역에서 BP 영역으로의 변환은 아래 수학식 3 및 4를 통해 나타낼 수 있다.

[0048] <수학식 3>

$$x_i = x_1 + (i-1)\Delta x$$

[0049]

[0050] <수학식 4>

$$d_i = Ae^{-jk(x_i - ct)} = f(x_i - ct)$$

[0051]

[0052] 이때, 수학식 3 및 4에서, Δx는 GPR 안테나의 진행방향으로의 분해능(Resolution) 이며, x_1을 시작점이라고 가정하면 x_i지점에서 발생하는 GPR신호의 응답(Response)은 d_i이다. 여기서 i는 GPR의 진행방향에 따른 데이터(즉, 계측된 GPR 신호)의 개수이고, A는 진폭이고, k는 파수(wavenumber)이고, c는 빛의 속도 $c = 3 \times 10^8 m/s$를 나타내며, t는 시간을 의미한다. 이에 따라, 원 신호(즉, 시간 영역에서 표시되던 각각의 값)들이 선형 변환을 거쳐서 BP 영역으로 변환된다.

[0053] <수학식 5>

$$s = f(x_a - ct) = d_a \alpha_a$$

[0054]

[0055] 위의 수학식 5에서 f는 a지점에서 발생한 파(wave)를 나타낸다. 그리고 α_a는 a지점에서 발생된 파에 대해 새로 표현된 BP 영역에서의 진폭을 나타내며, 기준 신호일 경우 α_a는 1의 값을 갖는다. 또한 d_a는 a지점에서 발생된 파의 기준 신호에 대한 위상(Phase)을 나타내며, 기준 신호일 경우 d_a는 1의 값을 갖는다.

[0056] 기준 신호에 대응되는 구간이 아닌 다른 구간에서는 s값의 선형 변환을 다음의 수학식 6과 같이 표현할 수 있다.

[0057] <수학식 6>

$$\begin{aligned} s &= f(x_a - ct) + g(x_a + \Delta x_D - c(t - \Delta t_D)) \\ &= f(x_a - ct) + g(x_a + \Delta x_D - ct + c\Delta t_D) \\ &= f(x_a - ct) + g(x_a + 2\Delta x_D - ct) \\ &= f(x_a - ct) + C_R f((x_a + 2\Delta x_D) - ct) \\ &= f(x_a - ct) + C_R f(x_b - ct) \\ &= d_a + C_R d_b = d_a \alpha_a + d_b \alpha_b \end{aligned}$$

[0058]

[0059] 상기 수학식 6에서 g는 손상(예를 들어, 함몰)구간에서의 반사파를 대표한다. 그리고 Δt_D는 손상구간에서

$\Delta t_D = \frac{\Delta x_D}{c}$ 로 반사된 파의 시간으로서 전자기파가 손상구간에서 GPR 수신 안테나까지 전파되는 시간이며, 표현이 가능하다. 또한, Δx_D는 손상구간과 GPR 수신 안테나와의 상대적 거리를 나타낸다.

[0060] 위와 같이 정리된 수학식 6은 d_a와 d_b로 표현할 수 있다. d_a는 a라는 구간에서 손상정보를 포함하지 않은 전자기파가 이동한 거리 x_a와 연관이 있으며, d_b는 b라는 구간에서 손상정보를 포함한 전자기파가 이동한 거리 x_b와 연관이 있다. 이때, $x_b = x_a + 2\Delta x_D$이다.

[0061] 또한, α_b는 새로 표현된 BP 영역(d_b)에서의 진폭을 나타내며 손상구간의 반사계수인 C_R과 같다. 그러므로 손상구간에 대응되는 선형 변환된 BP 영역에서의 값은 기준 신호의 BP영역에서의 값과 다른 값이 존재한다. 이러한 기준 신호와 다른 구간에서의 BP 영역 값을 이용해 목적 대상(예를 들어, 도로 함몰 등의 손상)을 평가할 수 있다.

[0062] 다음으로, 프로세서(120)는 기저 신호로부터 발생하는 노이즈 필터링을 처리한다.

[0063] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 BP 영역에서의 노이즈 처리 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0064] 앞서 설명한 바와 같이, 설정된 기준 신호를 이용하여 BP 변환을 거친후 원 BP 신호(Original BP signal)를 확인해보면, 도 6에 도시된 바와 같이 BP 영역 상에서 손상구간(즉, 동공 혹은 함몰 영역 등) 신호의 진폭(Amplitude) 및 위상(Phase)을 확연하게 구분할 수 있다.

[0065] 실제 현장에서의 신호는 손상구간에서의 특성 신호가 확연히 구분되지 않는 경우도 흔하며, 특히 작은 진폭을 갖는 경우가 많다. 이러한 경우에도 여전히 변하지 않는 특성 중 하나는, 도 6의 (a)에 도시된 바와 같은 기준 신호(P11)를 중심으로 미세한 위상 시프트(Phase shift)를 갖는 기타 신호들이, 기준 신호 설정 및 이에 상응하는 BP 변환 시 발생된 에러(Computational error) 혹은 노이즈들이라는 점이다. 특히, 기준 신호에 공기 중-아스팔트 간 상호 작용으로부터 오는 지배적인 반사 신호가 포함되어 있으므로, 도 6의 (b)에서 도시한 바와 같이 반사 신호(즉, 기준 신호(P11) 및 그 주변의 미세한 위상 시프트 신호)에 대한 위상 반전(Out-of-phase) 신호를 재구성하여 도 6의 (a)에 더해주면, 도 6의 (c)에서와 같이 손상구간(예: 동공)에 대한 특성(void feature) 신호만을 추출할 수 있다. 이처럼 재구성된 BP 신호(Reconstructed BP Signal)는 기준 신호 및 기준 신호에서 일정 부분의 위상 지연(Phase delay)으로 일어나는 노이즈들을 임의로 제거해준다. 이때, 프로세서(120)는 기준 신호가 $\alpha_r d_r$ 일 경우, Basis 영역 안에서 위상 지연이 i만큼 일어났다면 $\alpha_{r-i} d_{r-i}$ 에서 $\alpha_{r+i} d_{r+i}$ 까지의 노이즈를 제거한다.

[0066] 다음으로, 프로세서(120)는 위의 과정을 통해 노이즈가 제거된 BP 신호를 역 BP 변환(Inverse BP Transformation)을 통하여 도 7과 같이 시간 영역으로 역변환한다.

[0067] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 적용되는 역 BP 변환을 설명하기 위한 개념도이다.

[0068] 이때, BP 변환은 선형 변환이므로 정보의 손실없이 역변환이 가능하며, 아래 수학식 7를 통해 역 BP 변환을 처리할 수 있다.

[0069] <수학식 7>

[0070] $$s = T^{-1}(\alpha)$$

[0071] 그리고 프로세서(120)는 노이즈가 제거되어 목적 대상(즉, 손상구간 등)에 대한 신호만 남은 각 채널 별 GPR 데

이터에 기반하여 3D 이미지를 생성 및 출력한다. 이때, 프로세서(120)는 다채널 구간 각각의 역BP 변환된 신호들을 공간에 대해 통합하여 최종 처리된 3D 이미지를 취득할 수 있다. 이러한 3D 이미지를 방향에 따라 상호 분석함으로써 지하 내부 구조 및 함몰, 동공 등의 손상구간 정보를 자동으로 분석할 수 있다.

[0072] 이하에서는 도 8a 내지 도 8c를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 3D GPR 신호 처리의 결과로서 획득된 3D 이미지에 대해서 상세히 설명하도록 한다.

[0073] 도 8a 내지 도 8c는 각각 동공 구간, 맨홀 구간 및 파이프 구간에 대해 GPR 채널을 프로세싱한 결과 및 그에 따른 이미지를 나타낸 도면이다.

[0074] 도 8a 내지 8c에서는 각각 GPR을 통해서 데이터를 취득하여 함몰, 맨홀 및 파이프라고 확인된 부분들에 대한 데이터를 나타내었다.

[0075] 이때, 도 8a 내지 도 8c에서는 3D GPR 신호 처리 장치(100)를 통해 실제 실험한 데이터 중 GPR 안테나 신호의 진행방향으로 약 10m씩, 총 6개의 구간을 선정하여, BP 변환 및 역 BP 변환에 기반한 데이터 프로세싱을 처리한 결과를 나타냈다. 이때, 6개 구간에 대해서는 각각, 동공 구간, 맨홀 구간, 동공과 맨홀이 같이 있는 구간, 안테나 신호의 진행방향과 매설된 파이프가 직각 또는 수평 방향인 구간, 그리고 안테나 신호의 진행방향과 매설된 파이프가 직각/수평 방향이 함께 있는 구간을 선정하였다.

[0076] 먼저, 도 8a를 참조하면, 도 8a의 (a)는 손상구간(동공)에 대한 한 개의 GPR 채널의 신호를 BP 변환/역 BP 변환에 기반하여 프로세싱한 결과에 따른 2D 이미지를 나타냈다. 이를 통해, 역BP 변환을 거친 신호에서 GPR 스캐닝 방향으로 119m부근과 123~126m 부근에 포물선 모양을 확인할 수 있다. 또한, 도 8a의 (b)는 손상구간(동공)에 대한 다채널 GPR 신호를 BP 변환/역BP 변환에 기반하여 프로세싱한 결과를 통해 획득된 3D 이미지를 나타냈다. 이때, 도 8a의 (b)에서와 같이 사이드 뷰(Side View)에서 점선(P14)으로 표시된 부분의 단면을 어퍼 뷰(Upper View)로 획득할 수 있으며, 이러한 다채널 신호 처리 결과를 포함하는 어퍼 뷰 이미지에서 동공의 형태를 확인할 수 있다.

[0077] 또한, 도 8b를 참조하면, 도 8b의 (a)는 맨홀 구간에 대한 한 개의 GPR 채널의 신호를 BP 변환/역 BP 변환에 기반하여 프로세싱한 결과에 따른 2D 이미지를 나타냈다. 이를 통해, 역BP 변환을 거친 신호에서 GPR 스캐닝 진행방향으로 636~638m 부근에 포물선 모양을 확인할 수 있다. 이러한 포물선 신호는 GPR 신호가 포장도로를 통과하다가 맨홀을 만나 신호가 바뀌는 부분과 맨홀에서 다시 포장도로로 진행하는 과정에서 신호가 다시 한번 바뀌는 부분을 나타낸다. 또한, 도 8b의 (b)는 맨홀 구간에 대한 다채널 GPR 신호를 BP 변환/역BP 변환에 기반하여 프로세싱한 결과를 통해 획득된 3D 이미지를 나타냈다. 이때, 도 8b의 (b)에서와 같이 사이드 뷰에서 점선 부분(P15)으로 표시된 부분의 단면을 어퍼 뷰로 획득할 수 있으며, 이러한 어퍼 뷰 이미지에서 맨홀의 형태를 확인할 수 있다.

[0078] 또한, 도 8c는 GPR 스캐닝 진행 방향과 수평방향으로 매립되어있는 파이프에 의한 신호를 프로세싱한 결과이다. 도 8c의 (a)는 파이프 구간에 대한 한 개의 GPR 채널의 신호를 BP 변환/역 BP 변환에 기반하여 프로세싱한 결과에 따른 2D 이미지를 나타냈다. 도 8c의 (a)에 도시된 바와 같이, 원 신호(original signal)에서는 전자기파 특성상 깊이 방향으로 감쇄 현상이 크게 일어나 목적 대상에 따른 신호를 찾아볼 수 없다. 그러나 본 발명의 일 실시예에 따른 GPR 신호 처리에서는 감쇄 현상을 고려한 가중치를 적용하므로, BP 변환 및 역BP 변환을 통한 최종 신호에서는 깊이 방향으로 동공과 맨홀보다 깊게 매설되어있는 파이프를 확인할 수 있다. 또한, 도 8c의 (b)는 파이프 구간에 대한 다채널 GPR 신호를 BP 변환/역BP 변환에 기반하여 프로세싱한 결과를 통해 획득된 3D 이미지를 나타냈다. 이때, 도 8c의 (b)에서와 같이, 사이드 뷰의 점선으로 표시된 부분(P16)의 어퍼 뷰를 통해 파이프의 형태를 확인할 수 있다. 즉, 거의 모든 GPR 채널에서 같은 현상의 신호를 확인할 수 있어 GPR 진행방향과 수평 방향으로 파이프가 매설되어있다는 것을 확인할 수 있다.

[0079] 이상 도 8a 내지 도 8c를 통해, 원 신호에서 지배적인 포장층과 공기-지표면의 강한 반사 신호를 포장층의 두께의 여부와 상관없이 상당 부분을 제거할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따르면 GPR을 통해서 취득한 데이터를 입력받아 목적 대상 신호를 증폭 및 BP 변환하여 노이즈를 제거하는 프로세싱이 수행된다. 이에 따라, 전문가의 판단에 의존하지 않고 시스템적으로 신속하게 3D 이미지의 방향 별 상호 분석이 가능하며, 지하 구조물의 형태 및 손상 여부 파악 등의 목적 대상 평가를 할 수 있다. 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면 GPR을 통해서 3D 데이터를 계측하는 동시에 바로 자동화 프로세싱이 가능하며, 프로세싱을 거친 3D 이미지를 통해서 분석 시간 단축 및 현장 적용을 극대화할 수 있다.

[0080] 이하, 도 9를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 3D GPR 신호 처리 장치의 프로세서(120)를 통한 3D GPR 신

호 처리 방법을 설명하도록 한다.

[0081] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 3D GPR 신호 처리 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0082] 도 9에서는 3D GPR의 공간 스캐닝을 통해 지표 직하 및 지하 내부에 발생하는 도로 함몰 등을 평가하기 위한 데이터 프로세싱의 전반적인 흐름을 나타냈다.

[0083] 먼저, 검사하고자 하는 지표(예: 도로 등)를 선정하여 다채널의 GPR의 가진 안테나 및 측정 안테나를 임의의 방향(즉, 진행 방향)으로 스캐닝하여 3D GPR 신호를 획득한다(S910).

[0084] 다음으로, 획득한 채널 별 GPR 신호(즉, 시간 영역의 신호)에 대해 기설정된 가중치를 적용한다(S920).

[0085] 이때, GPR 채널 별로 계측된 반사 신호들에 대해, 지표로부터의 깊이 방향으로 거리 및 주파수에 따라 신호 감쇄를 보상할 수 있도록 변화하는 가중치를 곱하여 지표로부터 멀어질수록 신호의 크기를 증폭시킨다.

[0086] 그런 다음, 각각 가중치가 적용된 채널 별 GPR 신호에 대해 BP 변환에 기반하여 2D 데이터 프로세싱을 수행한다.

[0087] 구체적으로, GPR 채널 별로 GPR 신호의 노이즈 제거를 위한 기준 신호(Reference Signal)를 선정한다(S930).

[0088] 일반적으로 GPR 스캐닝 영역은 전체 영역이 아닌 일부 영역에만 손상구간 등이 존재한다. 이에 따라, 스캐닝 시작점 부근에는 손상구간(즉, 목적 대상)이 존재하지 않는다고 가정하여, 초기 스캐닝 지점 부근에서 획득된 GPR 신호를 기준 신호로서 선정한다. 이러한 기준 신호는 GPR 채널 별로 상이한 신호가 선정된다.

[0089] 그런 다음, 선정된 기준 신호 및 공간 스캐닝한 데이터들(즉, 각각 가중치가 적용된 채널 별 GPR 신호)을 BP 변환을 수행하여 시간 영역의 신호를 BP 영역의 신호로 변환한다(S940).

[0090] 이때, BP 변환된 기준 신호는 BP 영역에서 가장 크게 표시된다. 이러한 기준 신호를 중심으로 미세한 위상 시프트(Phase shift)가 발생한 신호들은 손상(예: 도로 함몰 등)에 의한 신호가 아니라 임의의 기준 신호를 선정 및 계산하는 과정에서 발생된 오류(computational error), 표면 반사 신호 또는 계측 노이즈 등에 의한 것이다.

[0091] 이와 같은 현상에 의거하여, 기저 신호로부터 발생한 노이즈 필터링을 처리한다(S950).

[0092] 구체적으로, BP 변환된 기준 신호(reference BP signal) 및 이에 상응하는 미세한 위상 시프트 신호들에 대응하는 위상 반전 신호를 BP 영역에서 재구성한 후, 원 BP 영역 신호에 더해주어 공기 중 반사 신호 및 기타 노이즈 신호를 제거한다.

[0093] 다음으로, 노이즈 필터링을 통해 추출된 BP 신호를 역BP 변환(Inverse BP transformation)을 통해 다시 시간 영역으로 역변환한다(S960).

[0094] 이상에서와 같이, 채널 별 GPR 신호에 대한 2D 데이터 프로세싱 과정을 각 채널 별로 반복 수행함으로써 획득된 2D 데이터를 정합하여 최종적으로 3D 공간 데이터(즉, 3D 이미지)를 생성 및 출력한다.

[0095] 즉, 역BP 변환된 다채널 GPR 신호들을 공간 영역에 대해서 통합하여 최종 3D 이미지를 생성하여 출력한다(S970).

[0096] 이상에서 설명한 본 발명의 실시예에 따른 3차원 지표투과 레이더 신호 처리 장치 및 그 신호 처리 방법은, 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수 있다. 이러한 기록 매체는 컴퓨터 판독 가능 매체로서 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한, 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터 저장 매체를 포함할 수 있으며, 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다.

[0097] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

[0098] 또한, 본 발명의 방법 및 시스템은 특정 실시예와 관련하여 설명되었지만, 그것들의 구성 요소 또는 동작의 일

부 또는 전부는 범용 하드웨어 아키텍처를 갖는 컴퓨터 시스템을 사용하여 구현될 수도 있다.

[0099] 본 발명의 범위는 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

[0100] 100: 3D GPR 신호 처리 장치

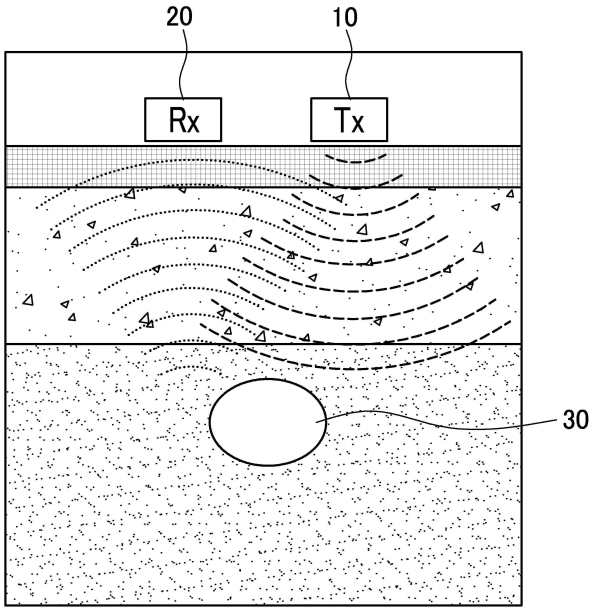
110: 다채널 GPR 스캐너

120: 프로세서

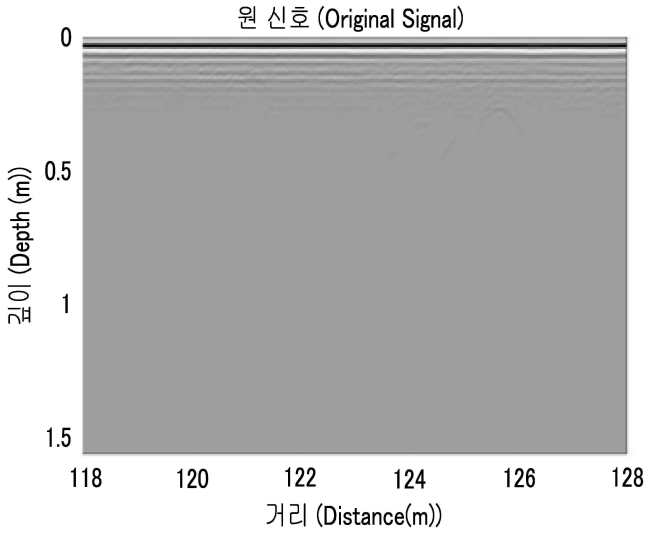
130: 메모리

도면

도면1

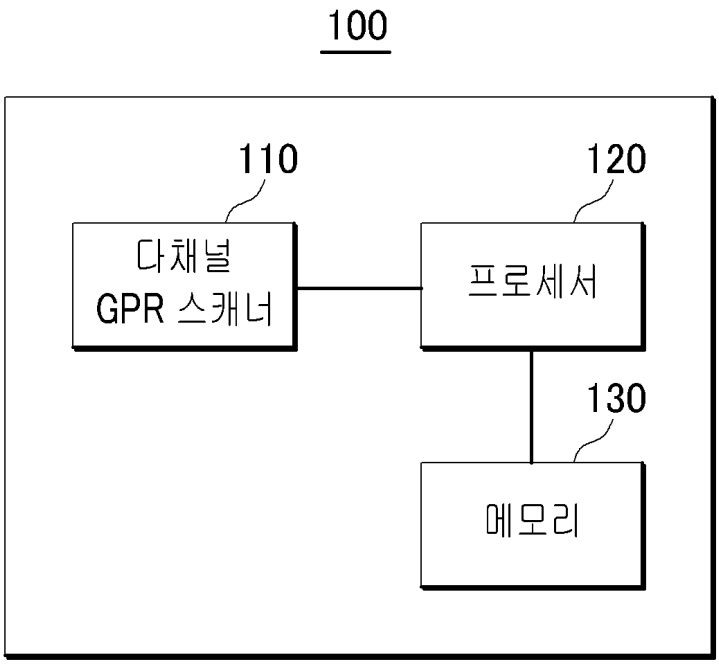

20
10
Rx
Tx
30

(a)

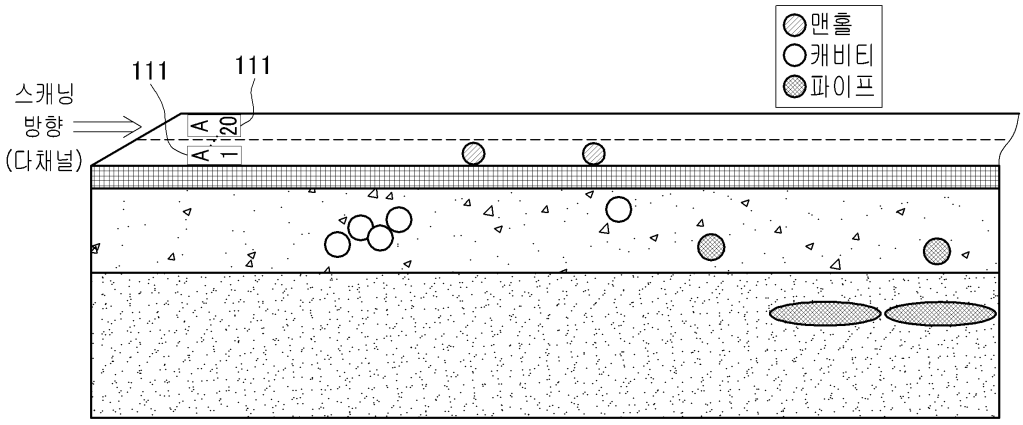

원 신호 (Original Signal)
0
0.5
1
1.5
깊이 (Depth (m))
118
120
122
124
126
128
거리 (Distance(m))

(b)

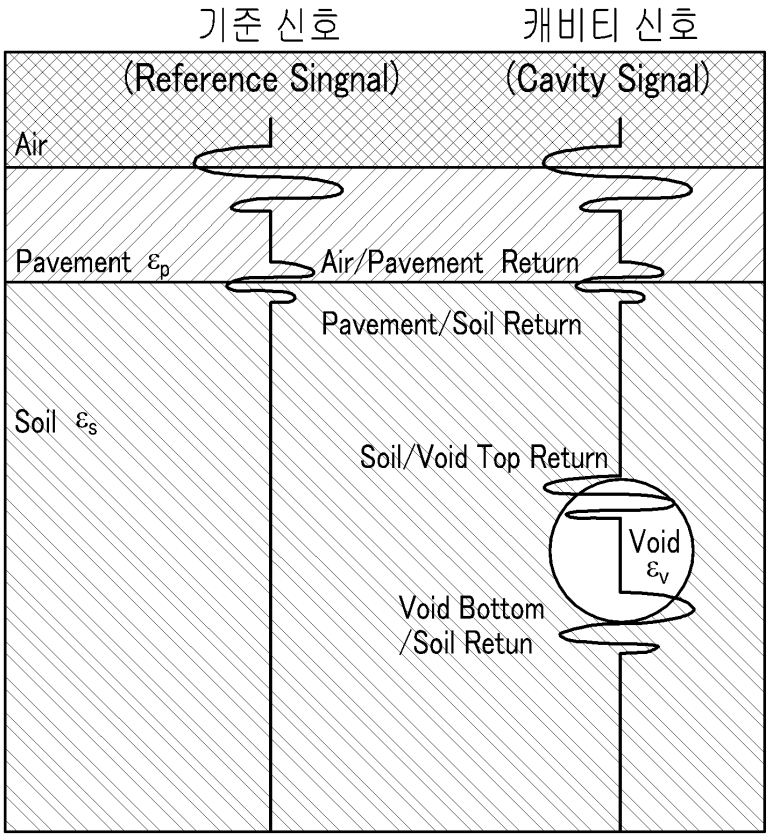
도면2


100
110
120
다채널
GPR 스캐너
프로세서
130
메모리

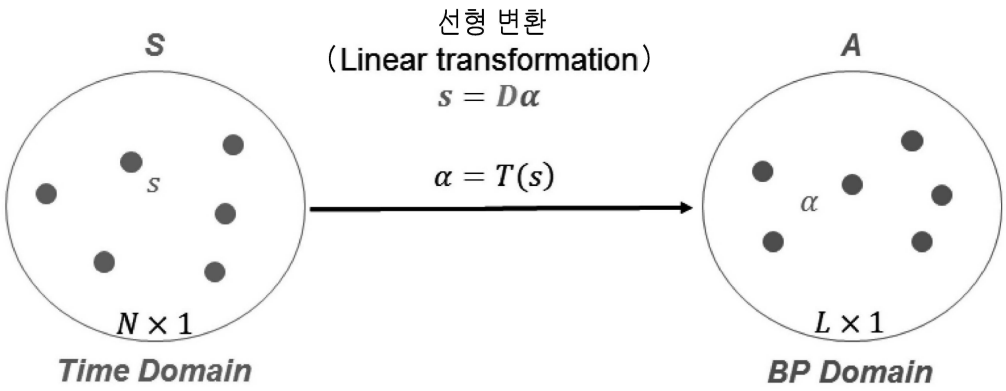
도면3


맨홀
캐비티
파이프
111
111
스캐닝
방향
(다채널)
A-A
A-A
120
1

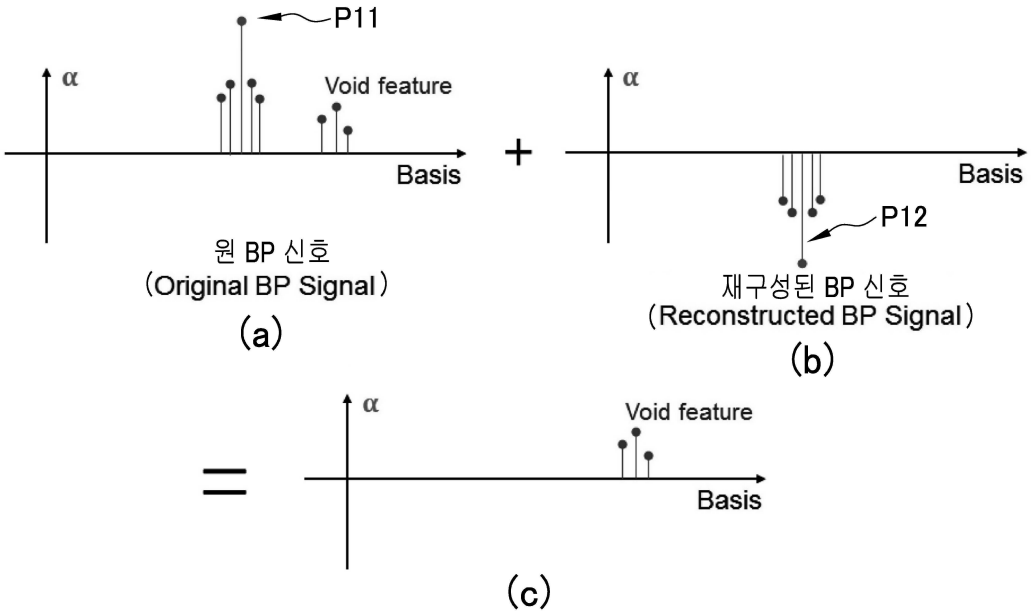
도면4


기준 신호
(Reference Singnal)
캐비티 신호
(Cavity Signal)
Air
Pavement ε_p
Air/Pavement Return
Pavement/Soil Return
Soil ε_s
Soil/Void Top Return
Void
ε_v
Void Bottom
/Soil Retun

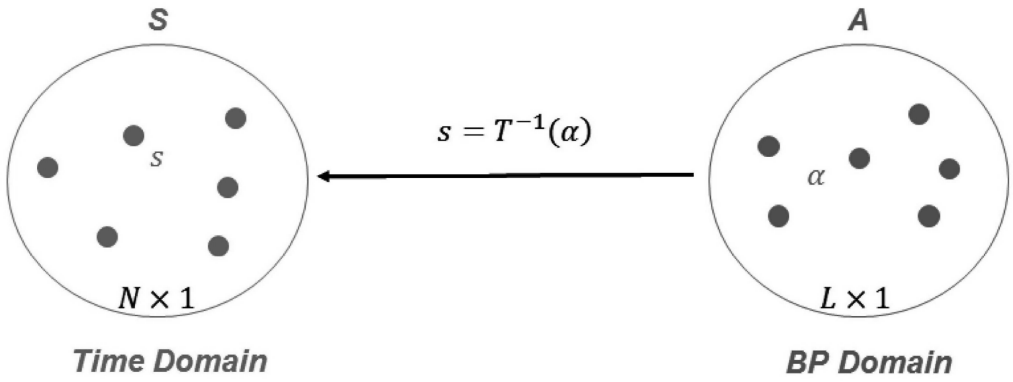
도면5


S
선형 변환
(Linear transformation)
$s = D\alpha$
$\alpha = T(s)$
A
s
α
$N \times 1$
$L \times 1$
Time Domain
BP Domain

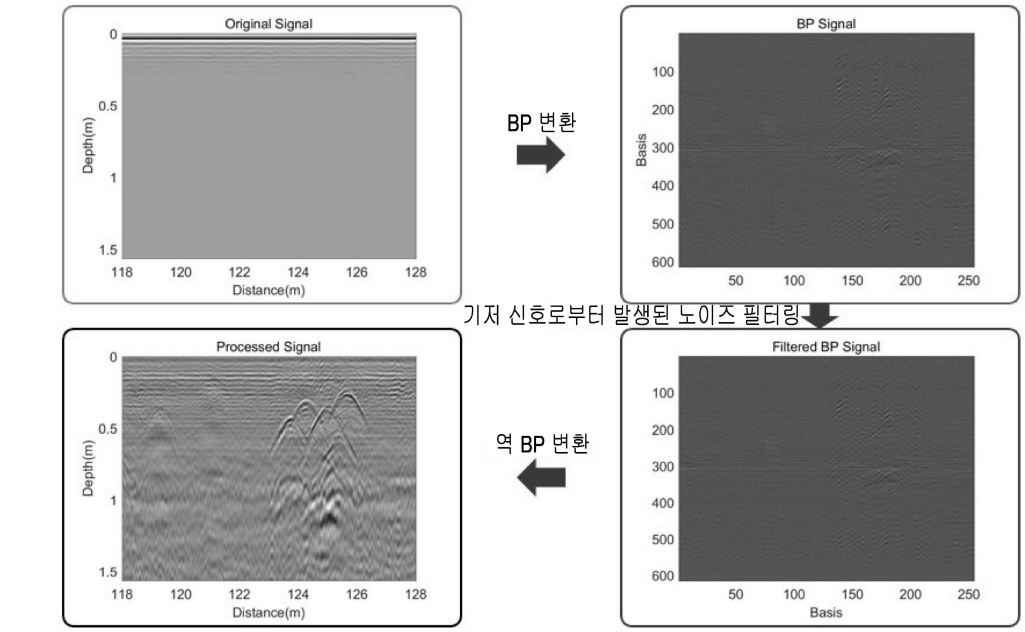
도면6


P11
α
Void feature
Basis
+
α
Basis
P12
원 BP 신호
(Original BP Signal)
(a)
재구성된 BP 신호
(Reconstructed BP Signal)
(b)
=
α
Void feature
Basis
(c)

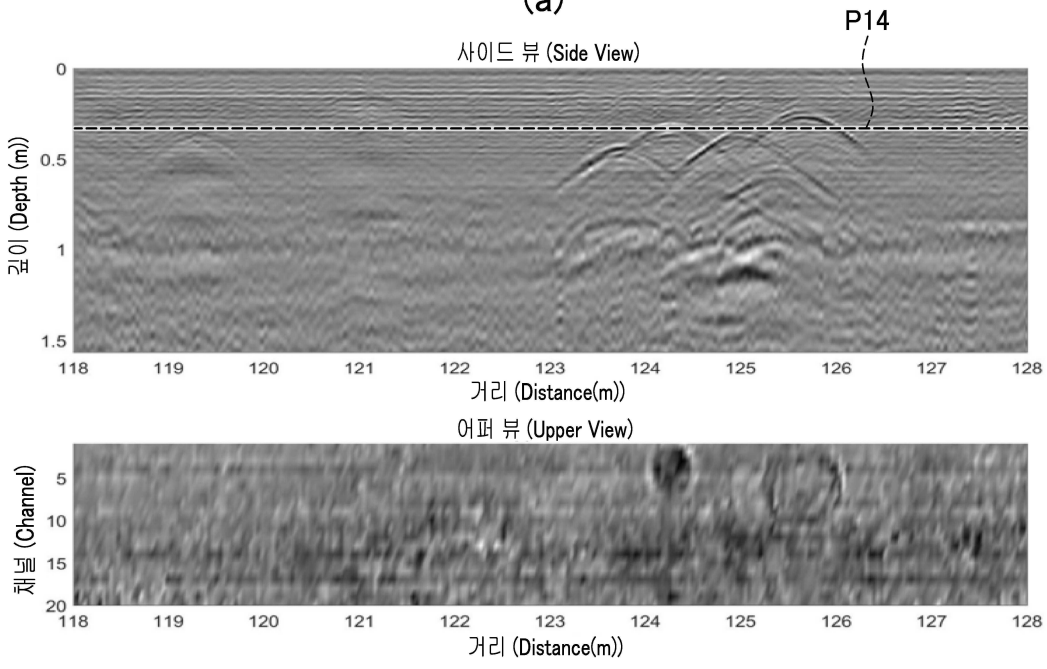
도면7


S
s
N × 1
Time Domain
$s = T^{-1}(\alpha)$
A
α
L × 1
BP Domain

도면8a

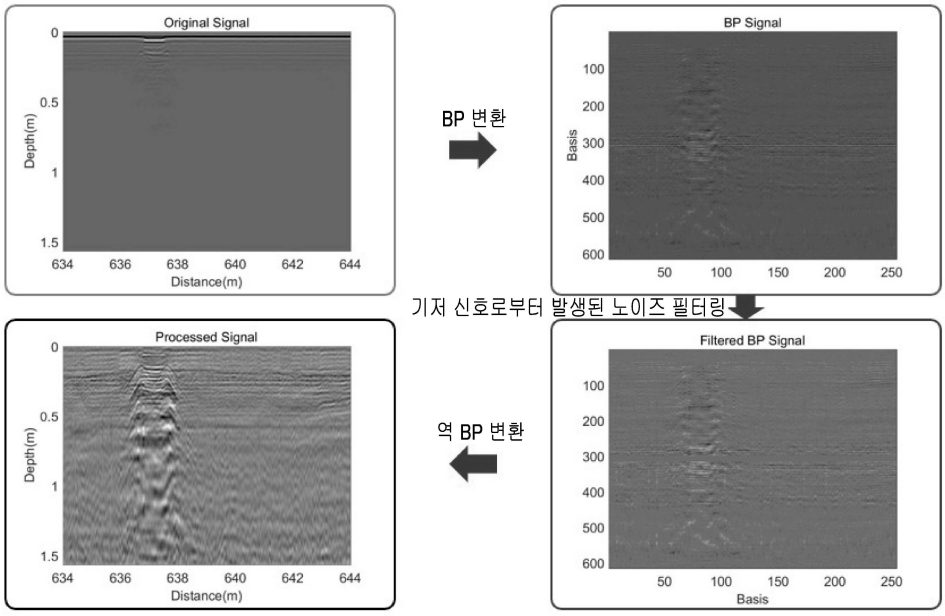

Original Signal
Depth(m)
Distance(m)
BP 변환
BP Signal
Basis
기저 신호로부터 발생된 노이즈 필터링
Processed Signal
역 BP 변환
Filtered BP Signal

(a)

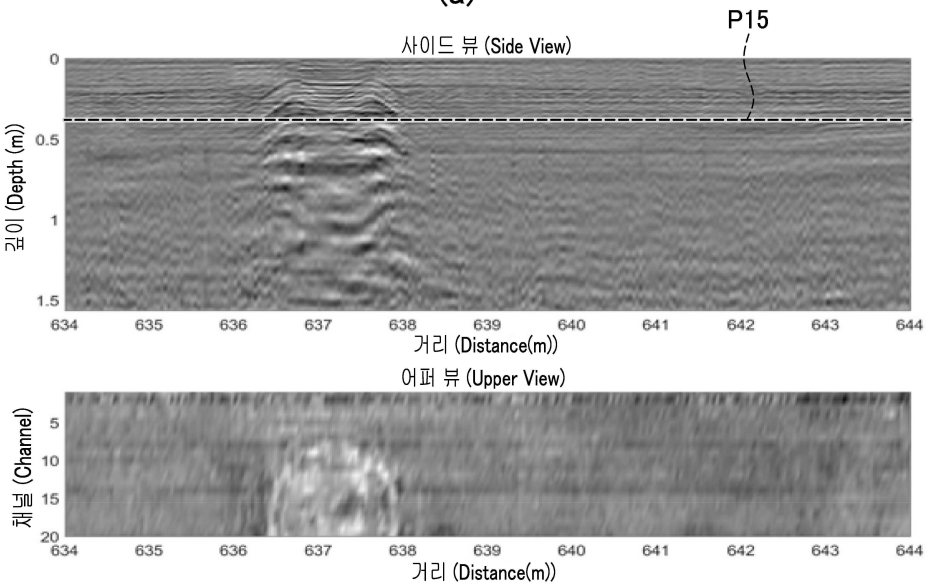

P14
사이드 뷰 (Side View)
깊이 (Depth (m))
거리 (Distance(m))
어퍼 뷰 (Upper View)
채널 (Channel)
거리 (Distance(m))

(b)

도면8b

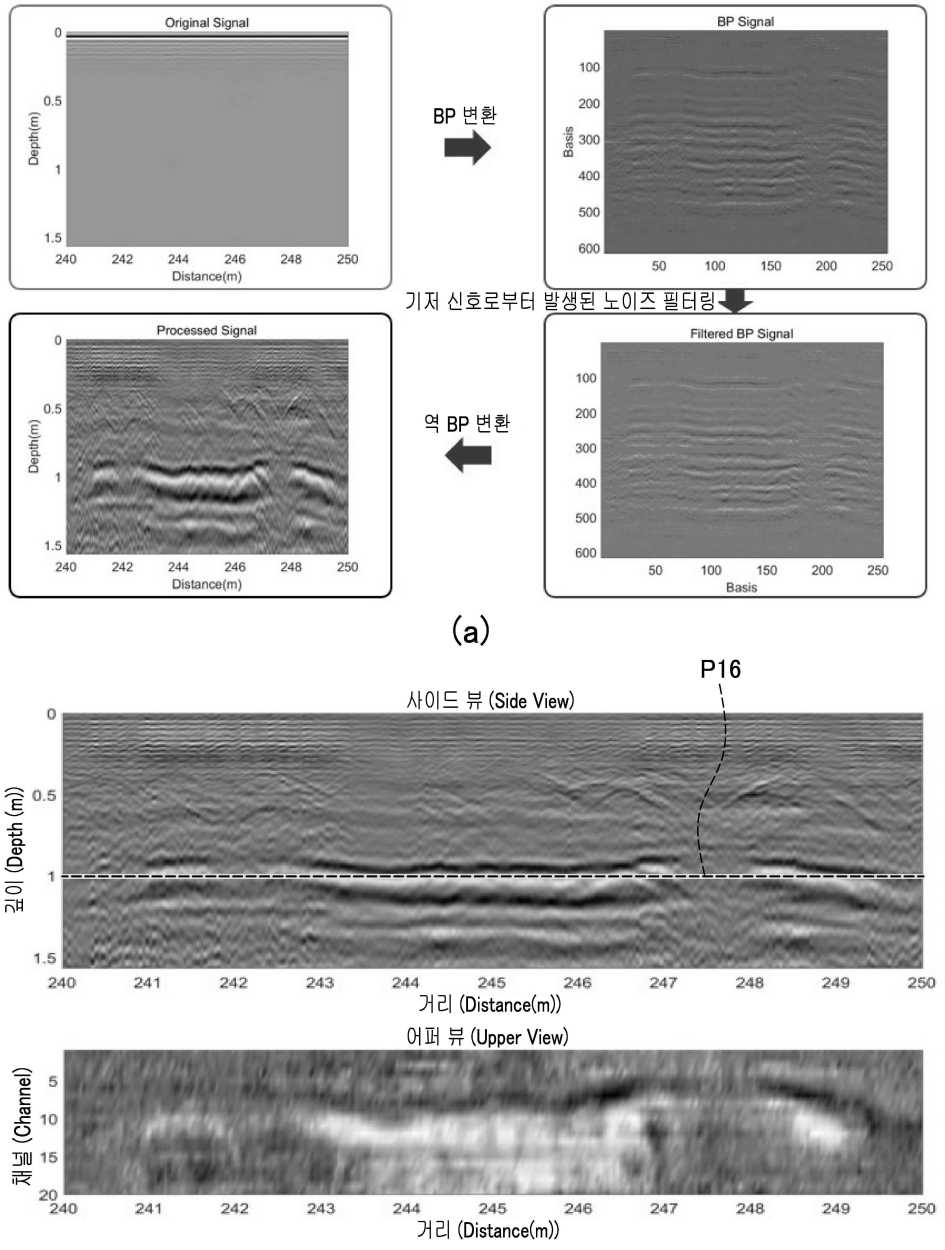

Original Signal
Depth(m)
Distance(m)
BP 변환
BP Signal
Basis
기저 신호로부터 발생된 노이즈 필터링
Filtered BP Signal
역 BP 변환
Processed Signal

(a)

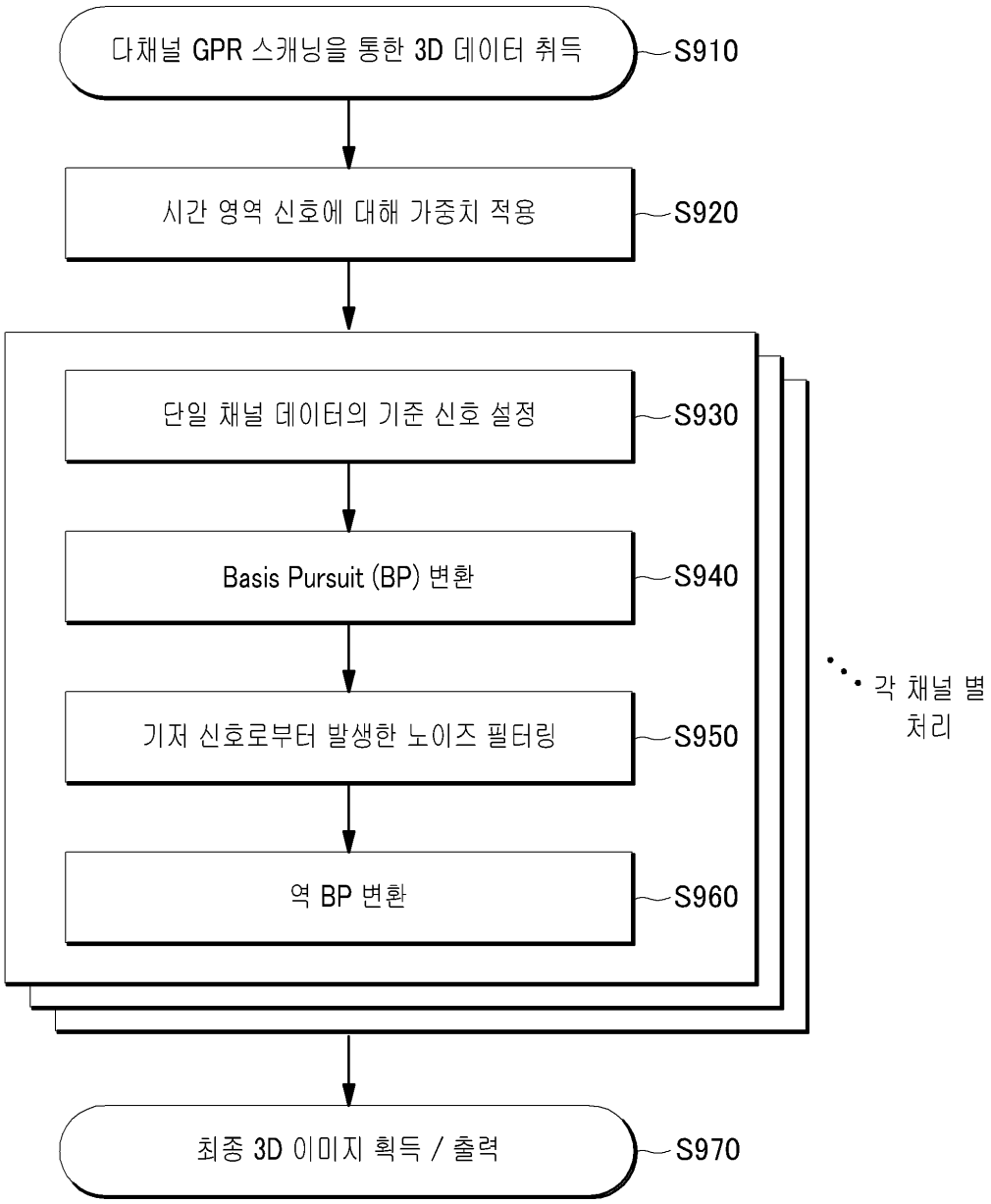

P15
사이드 뷰 (Side View)
깊이 (Depth (m))
거리 (Distance(m))
어퍼 뷰 (Upper View)
채널 (Channel)
거리 (Distance(m))

(b)

도면8c


Original Signal
Depth(m)
Distance(m)
BP 변환
BP Signal
Basis
기저 신호로부터 발생된 노이즈 필터링
Processed Signal
역 BP 변환
Filtered BP Signal
(a)
P16
사이드 뷰 (Side View)
깊이 (Depth (m))
거리 (Distance(m))
어퍼 뷰 (Upper View)
채널 (Channel)
거리 (Distance(m))
(b)

도면9


다채널 GPR 스캐닝을 통한 3D 데이터 취득
S910
시간 영역 신호에 대해 가중치 적용
S920
단일 채널 데이터의 기준 신호 설정
S930
Basis Pursuit (BP) 변환
S940
기저 신호로부터 발생한 노이즈 필터링
S950
역 BP 변환
S960
각 채널 별 처리
최종 3D 이미지 획득 / 출력
S970