



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년08월09일
 (11) 등록번호 10-1055313
 (24) 등록일자 2011년08월02일

(51) Int. Cl.

H04N 13/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0042488
 (22) 출원일자 2009년05월15일
 심사청구일자 2009년05월15일
 (65) 공개번호 10-2010-0123322
 (43) 공개일자 2010년11월24일
 (56) 선행기술조사문헌
 JP10153547 A*
 JP2005265793 A
 US20050100866 A1
 JP2008046574 A
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국과학기술원

대전 유성구 구성동 373-1

(72) 발명자

예종철

대전시 유성구 구성동 한국과학기술원

진경환

대전시 유성구 구성동 한국과학기술원 정문술빌딩 402호

(74) 대리인

특허법인무한

전체 청구항 수 : 총 3 항

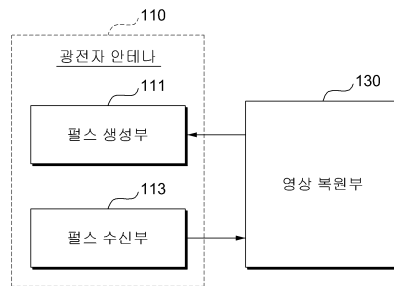
심사관 : 김건수

(54) 테라헤르츠 펄스 반사를 이용한 3차원 공간에서의 영상 복원 시스템 및 그 방법

(57) 요약

테라헤르츠 펄스 반사를 이용한 3차원 공간에서의 영상 복원 시스템 및 그 방법을 개시한다. 영상 복원 시스템은 3차원 공간에 테라헤르츠 영역의 펄스파를 조사하여 상기 3차원 공간 내의 산란 물체에 의해 반사되는 반사파를 수신하는 광학계; 및, 상기 수신된 반사파로부터 압축 센싱 알고리즘을 적용하여 상기 산란 물체의 위치를 복원하는 영상 복원부를 포함한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2008-F-021-01

부처명 정보통신연구진흥원

연구관리전문기관

연구사업명 IT산업원천기술개발사업

연구과제명 주파수빔 기술 기반 Terahertz/NIR 복합 고속 분광 내시경 개발

기여율

주관기관 한국과학기술원

연구기간 2008년 03월 01일 ~ 2013년 2월 28일

특허청구의 범위

청구항 1

펄스파를 이용하여 3차원 공간상에서의 물체의 모형을 복원하는 영상 복원 시스템에 있어서,

상기 3차원 공간에 테라헤르츠 영역의 펄스파를 조사하여 상기 3차원 공간 내의 산란 물체에 의해 반사되는 반사파를 수신하는 광학계; 및,

상기 수신된 반사파로부터 압축 센싱 알고리즘을 적용하여 상기 3차원 공간 상에서의 상기 산란 물체의 위치를 복원하는 영상 복원부

를 포함하고,

상기 영상 복원부는,

상기 반사파에 대한 스펙트럼 정보와 일정 조건의 그린 함수를 상기 압축 센싱 알고리즘에 적용하되, 상기 반사파를 푸리에 변환을 통해 시간 도메인 스펙트럼으로 변환하고 상기 변환된 시간 도메인 스펙트럼으로부터 상기 반사파에 대한 선형적인 행렬을 구한 후 상기 선형적인 행렬에 상기 그린 함수의 행렬을 적용하여 상기 산란 물체의 위치를 산출하고,

상기 압축 센싱 알고리즘은,

압축 센싱 이론에 적용되는 알고리즘으로 선형 프로그래밍, 포커스 알고리즘, 추출 알고리즘, 기저함수 선택 방법, 직교 기저함수 선택 방법, 약한 직교 기저함수 선택 방법 중 적어도 하나를 사용하는, 영상 복원 시스템.

청구항 2

청구항 2은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항에 있어서,

상기 광학계는,

상기 펄스파를 조사하는 조사 위치와 상기 반사파를 수신하는 수신 위치가 동일한 위치 또는 일정 범위 이내의 위치에 존재하는, 영상 복원 시스템.

청구항 3

청구항 3은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항에 있어서,

상기 광학계는,

상기 반사파를 수신하는 수신 위치가 상기 펄스파를 조사하는 조사 위치와 반대편 혹은 다른 위치에 존재하는, 영상 복원 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 광학계는,

상기 펄스파를 생성하는 펄스 생성부와 상기 반사파를 수신하는 펄스 수신부를 포함한 구조의 광전자 안테나로 구성되는, 영상 복원 시스템.

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

펄스파를 이용하여 3차원 공간상에서의 물체의 모형을 복원하는 영상 복원 시스템의 영상 복원 방법에 있어서, 상기 영상 복원 시스템의 광학계에서, 상기 3차원 공간에 테라헤르츠 영역의 펄스파를 조사하여 상기 3차원 공간 내의 산란 물체에 의해 반사되는 반사파를 수신하는 단계; 및,

상기 영상 복원 시스템의 영상 복원부에서, 상기 수신된 반사파로부터 압축 센싱 알고리즘을 적용하여 상기 3차원 공간 상에서의 상기 산란 물체의 위치를 복원하는 단계

를 포함하고,

상기 산란 물체의 위치를 복원하는 단계는,

상기 반사파에 대한 스펙트럼 정보와 일정 조건의 그린 함수를 상기 압축 센싱 알고리즘에 적용하되, 상기 반사파를 푸리에 변환을 통해 시간 도메인 스펙트럼으로 변환하고 상기 변환된 시간 도메인 스펙트럼으로부터 상기 반사파에 대한 선형적인 행렬을 구한 후 상기 선형적인 행렬에 상기 그린 함수의 행렬을 적용하여 상기 산란 물체의 위치를 산출하고,

상기 압축 센싱 알고리즘은,

압축 센싱 이론에 적용되는 알고리즘으로 선형 프로그래밍, 포커스 알고리즘, 추출 알고리즘, 기저함수 선택 방법, 직교 기저함수 선택 방법, 약한 직교 기저함수 선택 방법 중 적어도 하나를 사용하는, 영상 복원 방법.

청구항 9

청구항 9은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제8항에 있어서,

상기 반사파를 수신하는 단계는,

상기 반사파를 수신하는 수신 위치가 상기 펄스파를 조사하는 조사 위치와 동일한 위치 또는 일정 범위 이내의 위치에 존재하는, 영상 복원 방법.

청구항 10

청구항 10은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제8항에 있어서,

상기 반사파를 수신하는 단계는,

상기 반사파를 수신하는 수신 위치가 상기 펄스파를 조사하는 조사 위치와 반대편 혹은 다른 위치에 존재하는, 영상 복원 방법.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

청구항 14은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제8항 내지 제10항 중 어느 한 항의 방법을 수행하는 프로그램을 기록한 컴퓨터 판독 가능 기록 매체.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

[0001] 본 발명의 실시예들은 테라헤르츠 파장 영역의 펄스를 이용하여 3차원 공간 내에 존재하는 물체의 위치를 복원하는 영상 복원 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 테라헤르츠 영역에서 넓은 스펙트럼을 가지는 펄스파를 생성하고 수신하는 방법으로는 기계적인 스캐닝을 이용하는 테라헤르츠 TDS(terahertz time domain spectroscopy) 시스템과 AOS(asynchronous optical sampling)에 기반을 둔 테라헤르츠 TDS(terahertz time domain spectroscopy) 시스템이 있다. PCA(photo conductive antenna)는 NIR(near infrared ray) 영역의 펄스(femtosecond pulse)와 반응하여 테라헤르츠 펄스파를 생성한다. 펄스파는 보통의 경우 수 테라헤르츠(THz)까지의 넓은 스펙트럼으로 구성되어 있다.

[0003] 3차원 공간상에서의 물체의 모형을 복원하는 방법에는 여러 가지가 있다. 그 중에서도 펄스파를 이용하여 복원하는 방법으로는 키르히호프 방법(Kirchhoff's migration Method)이 존재한다. 키르히호프 방법은 반사되어 나온 펄스파의 시간지연에 해당하는 구형을 측정 평면에서부터 같은 거리에 존재하는 3차원 복셀(voxel)에 값들을 모두 더하는 과정으로 CT(tomography)에서의 역전사 과정(Back-projection)과 유사하다. 이러한 기술의 단점은 측정되어야 할 데이터의 개수가 많고, 복원하는 과정에 많은 시간이 필요하다는 것이다.

[0004] 이와는 다른 방식으로 2차원 영상을 복원하는 방법이 제시되었는데, 이는 푸리에 평면에서 랜덤 패턴 마스크(Random pattern mask)를 위치하여 데이터를 한 점에서 얻은 후 이를 압축 센싱(compressed sensing) 이론에 따라 적은 수의 데이터로 2차원 영상을 얻어내는 방법이다. 이는 빠른 시간 안에 본래의 영상에 가까운 결과를 보여준다. 그러나, 압축 센싱을 이용한 영상 복원 방법은 아직 3차원 공간 상에서 영상을 복원하는 과정에 적용되지 못하고 있는 실정이다.

발명의 내용

해결하고자하는 과제

[0005] 본 발명의 일실시예는 압축 센싱 이론을 바탕으로 한 알고리즘을 이용하여 3차원 공간에 존재하는 물체의 위치를 보다 정확하고 빠르게 복원하기 위한 영상 복원 시스템 및 그 방법을 제공한다.

과제 해결수단

[0006] 본 발명의 일실시예에 따른 영상 복원 시스템은 3차원 공간에 테라헤르츠 영역의 펄스파를 조사하여 상기 3차원 공간 내의 산란 물체에 의해 반사되는 반사파를 수신하는 광학계; 및, 상기 수신된 반사파로부터 압축 센싱 알고리즘을 적용하여 상기 산란 물체의 위치를 복원하는 영상 복원부를 포함한다.

[0007] 본 발명의 일실시예에서 상기 광학계는 상기 펄스파를 조사하는 조사 위치와 상기 반사파를 수신하는 수신 위치가 동일한 위치 또는 일정 범위 이내의 위치에 존재하거나, 상기 반사파를 수신하는 수신 위치가 상기 펄스파를 조사하는 조사 위치와 반대편 혹은 다른 위치에 존재하도록 한다.

[0008] 본 발명의 일실시예에서 상기 광학계는 상기 펄스파를 생성하는 펄스 생성부와 상기 반사파를 수신하는 펄스 수신부를 포함한 구조의 광전자 안테나로 구성된다.

[0009] 본 발명의 일실시예에서 상기 영상 복원부는 상기 반사파를 스펙트럼 정보로 변환한 후 상기 스펙트럼 정보와 일정 조건의 그린 함수를 상기 압축 센싱 알고리즘에 적용하여 상기 산란 물체의 위치를 산출한다.

[0010] 본 발명의 일실시예에서 상기 영상 복원부는 상기 반사파를 푸리에 변환을 통해 시간 도메인 스펙트럼으로 변환하고 상기 변환된 시간 도메인 스펙트럼으로부터 상기 반사파에 대한 선형적인 행렬을 구한 후 상기 선형적인

행렬에 상기 그린 함수의 행렬을 적용한다.

- [0011] 본 발명의 일실시예에서 상기 압축 센싱 알고리즘은 압축 센싱 이론에 적용되는 알고리즘으로 선형 프로그래밍, 포커스 알고리즘, 추출 알고리즘, 기저함수 선택 방법, 직교 기저함수 선택 방법, 약한 직교 기저함수 선택 방법 중 적어도 하나를 사용할 수 있다.
- [0012] 본 발명의 일실시예에 따른 영상 복원 방법은 광학계와 영상 복원부를 포함한 영상 복원 시스템의 영상 복원 방법에 있어서, 상기 광학계에서 3차원 공간에 테라헤르츠 영역의 펄스파를 조사하여 상기 3차원 공간 내의 산란 물체에 의해 반사되는 반사파를 수신하는 단계; 및, 상기 영상 복원부에서 상기 수신된 반사파로부터 압축 센싱 알고리즘을 적용하여 상기 산란 물체의 위치를 복원하는 단계를 포함한다.

효 과

- [0013] 본 발명의 일실시예에 따르면, 전자기파 중 테라헤르츠에서 넓은 영역을 갖는 펄스파를 이용하여 3차원 공간 상에서의 물체의 위치를 복원함으로써 보다 향상된 해상도의 영상을 얻을 수 있다.
- [0014] 본 발명의 일실시예에 따르면, 압축 센싱 이론을 바탕으로 한 알고리즘을 이용하여 테라헤르츠 펄스에 대한 반사파(pulse echo)를 적용함으로써 적은 수의 데이터로 3차원 공간의 물체를 복원할 수 있어 영상 복원에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하에서, 본 발명에 따른 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0016] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 3차원 공간에서의 물체의 위치를 복원하는 영상 복원 시스템을 도시한 것이다. 도 1을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 영상 복원 시스템은 광학계(110)와, 영상 복원부(130)를 포함한다.
- [0017] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 영상 복원 시스템의 영상 복원 과정을 도시한 것이다. 여기서, 본 발명의 일실시예에 따른 영상 복원 과정은 도 1의 영상 복원 시스템에 의해 실행될 수 있다.
- [0018] 도 1과 도 2를 참조하면, 광학계(110)는 테라헤르츠 영역의 펄스파(이하, '테라헤르츠 펄스'라 약칭함)를 3차원 공간으로 방출한 후(S201) 상기 3차원 공간 내에 존재하는 물체(이하, '산란 물체'라 칭함)에 의해 반사되는 반사파를 수신하는(S202) 역할을 수행한다. 광학계(110)는 근적외선 영역의 펄스초 펄스와 반응하여 광원인 테라헤르츠 펄스를 생성하는 광전자 안테나(PCA)로 구성된다. 즉, 광학계(110)는 테라헤르츠 펄스가 생성되는 펄스 생성부(111)와, 테라헤르츠 펄스가 산란 물체에 의해서 반사되는 반사파를 수신하는 펄스 수신부(113)를 포함한 구조의 광전자 안테나를 사용할 수 있다. 이때, 펄스 생성부(111)와 펄스 수신부(113)는 하나의 구조물로 구성되어 테라헤르츠 펄스를 조사하는 펄스 생성부(111)의 조사 위치와 반사파를 수신하는 펄스 수신부(113)의 수신 위치가 동일한 위치 또는 일정 범위 이내의 위치에서 이루어지도록 한다.
- [0019] 영상 복원부(130)는 광학계(110)를 통해 수신되는 반사파로부터 압축 센싱 이론을 바탕으로 하는 알고리즘을 적용하여 3차원 공간 상의 산란 물체의 위치를 복원하는(S203) 역할을 수행한다. 영상 복원부(130)는 테라헤르츠 TDS(time domain spectroscopy) 시스템을 포함할 수 있다. 이때, TDS 시스템은 AOS(asynchronous optical sampling)에 기반을 둔 테라헤르츠 TDS 시스템을 이용할 수 있다. 영상 복원부(130)는 수신되는 반사파를 스펙트럼 정보로 변환한 후 상기 변환된 스펙트럼 정보와 일정 조건의 그린 함수를 압축 센싱 이론에 적용하여 상기 산란 물체의 위치를 산출할 수 있다.
- [0020] 본 발명의 일실시예는 전자기파 중 테라헤르츠에서 넓은 빔 영역을 갖는 펄스파를 이용함으로써 테라헤르츠 펄스의 스펙트럼을 해석할 때 보다 많은 정보를 포함할 수 있다. 또한, 본 발명의 일실시예는 테라헤르츠 펄스에 대한 반사파(pulse echo)의 스펙트럼을 압축 센싱 이론에 적용함으로써 3차원 공간 내 물체의 위치를 정확하게 복원할 수 있다.
- [0021] 도 3 내지 도 5를 참조하여, 3차원 공간 내 산란 물체의 위치를 복원하는 영상 복원 과정을 상세하게 설명한다.
- [0022] 도 3을 참조하면, 광학계(110)의 펄스 생성부(111)는 광원인 테라헤르츠 펄스를 생성한다. 펄스 생성부(111)는 영상 복원부(130)의 제어 하에 측정면(301)의 임의 조사 위치(301a)에서 구형의 테라헤르츠 펄스를 생성하여 방출한다. 본 발명의 일실시예는 3차원 공간을 복원하기 위하여 펄스 수신부(113)에서 구형의 반사파를 수신하여

이용하기 때문에 펄스 생성부(111)에서 생성된 테라헤르츠 펄스를 렌즈 등에 의해 평행빔으로 변환하지 않아도 된다. 또한, 본 발명의 일실시예는 측정면(301)에서 조사 위치(301a) 및 수신 위치(301b)의 정확한 위치를 알 수 있는 조건이라면 3차원 공간(303)에 대한 측정면(301)이 반드시 평면일 필요는 없다.

[0023] 자유 공간인 3차원 공간(303) 상에서 전파되는 테라헤르츠 펄스는 전자기장의 한 종류로써 맥스웰 방정식(Maxwell's equation)을 만족시키고, 또한 스칼라 헬름홀츠 방정식(scalar Helmholtz equation)을 만족시킨다. 전자기파는 자유 공간에서 전파되는 도중 이동경로에 존재하는 산란 물체(305)에 의해서 산란된다. 이때, 산란 물체(305)를 지난 후의 전자기파는 산란에 의한 전기장과 입사되는 전기장이 합쳐져서 표현될 수 있으며 수학식 1과 같이 정의할 수 있다.

수학식 1

$$\psi_T(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0; k) = \psi_i(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0; k) + \psi_s(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0; k)$$

[0024] 여기서, ψ_T 는 산란 후의 측정되는 전기장, ψ_i 는 조사 위치(301a)로부터 입사되는 전기장, ψ_s 는 산란 물체(305)에 의해 산란된 전기장이다. 산란된 전기장(ψ_s)은 본 근사식(Born approximation)과 헬름홀츠 방정식에 의해서 수학식 2와 같이 정의할 수 있다.

수학식 2

$$\psi_s(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0; k) = k^2 \int d\mathbf{r}' f(\mathbf{r}') g_k(\mathbf{r} | \mathbf{r}') \psi_i(\mathbf{r}', \mathbf{r}_0; k)$$

[0026] 수학식 2의 $k(k=w/c)$ 는 파장벡터(wavenumber vector), $g_k(\mathbf{r} | \mathbf{r}')$ 는 그린함수(Green's function)이다. 산란된 전기장(ψ_s)에 의한 반사파는 산란 물체의 특성인 $f(\mathbf{r})$ 에 따라 영향을 받는다. 산란 물체(305)이 흡수율이 크면 반사파는 세기가 매우 약해져서 검출이 안될 것이다.

[0028] 본 발명의 일실시예는 테라헤르츠 펄스에 대한 반사파를 이용하므로 수학식2를 이용하여 반사파를 측정할 수 있다. 광학계(110)의 펄스 수신부(113)는 테라헤르츠 펄스를 조사한 조사 위치(301a)와 동일한 위치의 수신 위치(301b)에서 산란 물체(305)에 의해 산란되어 반사되는 반사파를 측정한다. 광학계(110)는 영상 복원부(130)의 제어 하에 측정면(301) 내에서 위치를 이동해가면서 반사파를 측정 및 수집한다.

[0029] 그린 함수는 일반적인 선형 편미분 방정식에서 델타 함수를 도출하는 기본함수로서 보통 해를 구할 때 사용된다. 수학식 3은 헬름홀츠 방정식에 해당하는 그린 함수이다.

수학식 3

$$g_k(\mathbf{r} | \mathbf{r}') = \frac{e^{jk|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|}}{4\pi|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|}$$

[0030] 여기서, \mathbf{r} , \mathbf{r}' 는 광학계(110)의 조사 위치(301a)와 수신 위치(301b)를 각각 나타내며 직교 좌표계로 생각해서 이용할 수 있다. 본 발명에서 조사 위치(301a)와 수신 위치(301b)는 동일한 위치 또는 일정 범위 이내의 위치에 놓임으로써 수학식 1을 단순화 시키고 단순화된 식을 수신 위치(301b)에서 측정된 반사파에 대한 데이터 값(y)으로 나타내면 수학식 4와 같이 정의할 수 있다.

수학식 4

$$y(\mathbf{r}; k) = \frac{\psi_s(\mathbf{r}; k)}{k^2 S(k)} = \int d\mathbf{r}' f(\mathbf{r}') g_k^2(\mathbf{r} | \mathbf{r}')$$

[0032] 여기서, $S(k)$ 는 광원인 테라헤르츠 펄스가 갖는 파형의 스펙트럼을 나타낸다. 수학식 4는 파장과 반비례하는 파장벡터(wavenumber) 도메인을 가진다. 파형에 따라서 측정하게 되는 반사파의 데이터 크기나 노이즈 정도가 변할 수 있다. 수학식 4와 같이 3차원 공간(303) 상에 존재하는 산란 물체(305)에 대한 정보를 측정면(301)에

서 수신되는 반사파를 통해서 얻을 수 있다.

[0034] 또한, 도 3에서, 광학계(110)의 조사 위치(301a)는 그대로 유지하고 수신 위치(301b)를 조사 위치(301a)가 위치한 측정면(301)의 반대편 즉, 3차원 공간(303)에서 조사 위치(301a)와 서로 대응되는 위치에 위치시킬 수 있다. 조사 위치(301a)의 반대편에 위치한 수신 위치(301b)는 수학적 식 5와 같이 정의할 수 있다.

수학적 식 5

$$y(r_0, r; k) = \frac{\psi_s(r; k)}{k^2 S(k)} = \int dr' f(r') g_k(r | r') g_k(r_0 | r')$$

[0035]

[0036] 이와 같은 수신 위치(301b)의 변경은 실제 알고리즘에 적용되는 선형 행렬 계산의 그린함수 행렬을 변경시키거나, 똑같은 알고리즘이 적용되어 복원될 수 있다.

[0037] 영상 복원부(130)는 펄스 수신부(113)에 의해서 측정되는 반사파를 디지털화된 데이터로 저장한다. 이때, 반사파에 대한 데이터(401)는 도 4와 같이 모형화 될 수 있다. 영상 복원부(130)는 반사파의 데이터(401)를 수학적 식 4에 맞게 푸리에 변환을 통해 스펙트럼 정보로 변환할 수 있다. 또한, 수학적 식 4에서 알 수 있듯이 반사파에 대한 데이터는 연속적인 시간 도메인에 존재하는데, 영상 복원부(130)는 반사파를 이산화하여 실제 알고리즘에 적합한 형태로 바꿀 수 있고 선형적인 행렬 계산으로 변환할 수 있다.

수학적 식 6

$$y^{(n)} = G^{(n)} f, \quad n = \dots N$$

[0038]

수학적 식 7

$$G^{(n)} = \begin{matrix} g_{k_1}^2(r_n | r'_1) & \dots & g_{k_1}^2(r_n | r'_p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{k_n}^2(r_n | r'_1) & \dots & g_{k_n}^2(r_n | r'_p) \end{matrix}$$

[0039]

[0040] 여기서, n은 측정하는 위치 즉, 광학계(110)를 이동하면서 반사파의 수신이 이루어진 수신 위치(301b)에 대한 개수를 의미한다. n이 개수를 의미하더라도 여기에 해당하는 그린 함수의 행렬은 각각의 펄스 수신부(113)에 대한 위치정보를 그린 함수의 제곱 꼴로 가지고 있다.

[0041] 따라서, 수학적 식 6은 수학적 식 4와 동치된다. 여기서, 그린 함수의 행렬은 수학적 식 7과 같이 구성된다. 지수 n은 각각의 수신 위치(301b)를 나타낸다. 기본적으로, 반사파에 대한 데이터는 y이며 이들은 구하고자 하는 f 벡터와 그린 함수 행렬과의 행렬 곱이 된다. f 벡터가 들판하게(sparse) 분포되어 있는 산란 물체라고 가정할 경우 압축 센싱 이론에 따라 적은 수의 y로도 본래의 물체를 완벽에 가깝게 복원할 수 있다.

[0042] 압축 센싱 이론을 적용하기 위해서는 한가지 조건이 필요하다. 선형 연산자에서 각각의 컬럼 벡터(column vector)가 서로의 스칼라 곱셈의 값이 작아야 한다. 컬럼 벡터간의 유사성을 상호 유사성(mutual coherence)이라는 인자를 기준으로 해석적인 해를 구한다. 상호 유사성 인자로 어느 정도의 범위까지 복원이 가능한지 알아낼 수 있다. 상호 유사성을 구하는 식은 수학적 식 8과 같다.

수학식 8

$$\mu(\mathcal{G}) = \max_{p \neq q} \left\langle \frac{\mathcal{G}_p}{\|\mathcal{G}_p\|_2}, \frac{\mathcal{G}_q}{\|\mathcal{G}_q\|_2} \right\rangle$$

$$\mu(\mathcal{G}) = \max_{p \neq q} \frac{\sum_{n: |r_n - r'_p| = |r_n - r'_q|} \frac{1}{|r_n - r'_q|^4}}{\sum_{n=1}^N \frac{1}{|r_n - r'_p|^4}}$$

[0043]

[0044]

여기서, r_n 은 펄스 수신부(113)의 위치를, r'_p , r'_q 은 산란 물체의 위치를 의미한다. 도 5를 참조하면, 상호 유사성은 전체의 면적과 두 개의 산란 물체(r'_p , r'_q) 사이에서 같은 거리에 떨어진 평면(503)과 측정면(501)이 만나는 선 위의 임의의 두 점(r_n)이 산란 물체(r'_p , r'_q)와 떨어진 거리의 비율이 상호 유사성이 된다. 이에 따른 상호 유사성은 매우 작은 값이 되므로 본 발명의 일실시예는 압축 센싱 이론을 효과적으로 적용할 수 있다.

수학식 9

$$\|f\|_0 < (\mu(\mathcal{G})^{-1} + 1) / 2$$

[0045]

[0046]

여기서, $\|f\|_0$ 는 산란 물체의 개수이다. 복원 가능한 산란 물체의 개수가 상호 유사성과 연관이 있으나, 상호 유사성이 매우 작으므로 많은 수의 산란 물체를 복원할 수 있다. 실제로 상호 유사성은 수학식 6에서 측정되는 벡터의 차원(dimension)과 관련이 있으므로, 복원 정도의 범위는 변수들이 변함에 따라 변할 수 있다.

[0047]

상기한 과정에서 얻어진 반사파에 대한 데이터(즉, 수학식 4)를 미리 계산해 놓은 그림 함수의 행렬을 통해 정해진 위치의 그림 함수를 선택하여 압축 센싱 이론을 바탕으로 한 알고리즘으로 산란물체를 복원한다.

수학식 10

$$\min \|f\|_0, \text{subject to } y^{(i)} = G^{(i)} f, i = 1, \dots, N$$

[0048]

[0049]

여기서, f 는 복원할 산란 물체의 1차원 벡터를 뜻한다. 수학식 10은 0이 아닌 값(Nonzero value)을 최소로 하는 L0 문제이다. L0 최소화는 복원할 산란 물체에 대한 벡터의 위치 특성이 고려되지 않으므로 유일한 해를 구하기 어렵다.

[0050]

그러나, 3차원 공간 상의 산란 물체가 $y^{(i)} = G^{(i)} f$ 를 만족하는 범위에서 최대한 듬성하게 분포되어 있을 경우 압축 센싱 이론을 적용하면, 수학식 10이 수학식 11과 같이 변환된다.

수학식 11

$$\min \|f\|_1, \text{subject to } y^{(i)} = G^{(i)} f, i = 1, \dots, N$$

[0051]

[0052]

본래의 0이 아닌 값(Nonzero value)만 복원하는 최적화 문제였으나 압축 센싱 이론에 의해 L1 최적화 문제로 변화되며 이는 L0 문제보다 특정 해를 구하기가 쉬운 문제이다.

[0053]

본 발명의 일실시예에서 L1 최적화 알고리즘으로는 L1 최적화에 쓰이는 선형 프로그래밍(Linear programming), 포커스 알고리즘(FOCUSS Algorithm) 등을 포함하는 방법, 필요한 성분들만 분리하는 추출 알고리즘(Greedy Algorithm), 기저함수 선택 방법(Matching Pursuit Method), 직교 기저함수 선택 방법(Orthogonal Matching

Pursuit Method), 약한 직교 기저함수 선택 방법(Weak Orthogonal Matching Pursuit Method) 등을 사용할 수 있다.

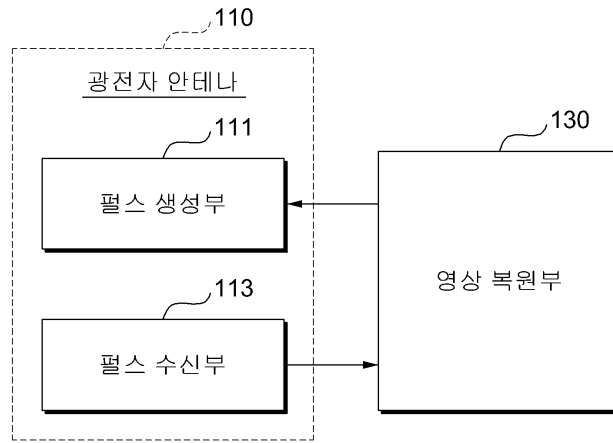
- [0054] 본 발명의 일실시예는 압축 센싱 이론을 바탕으로 한 L1 최적화 알고리즘을 사용함으로써 적은 수의 데이터로 3차원 공간 내 산란 물체의 위치를 복원할 수 있다.
- [0055] 본 발명의 실시예들은 다양한 컴퓨터로 구현되는 동작을 수행하기 위한 프로그램 명령을 포함하는 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함한다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광 기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.
- [0056] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.
- [0057] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

도면의 간단한 설명

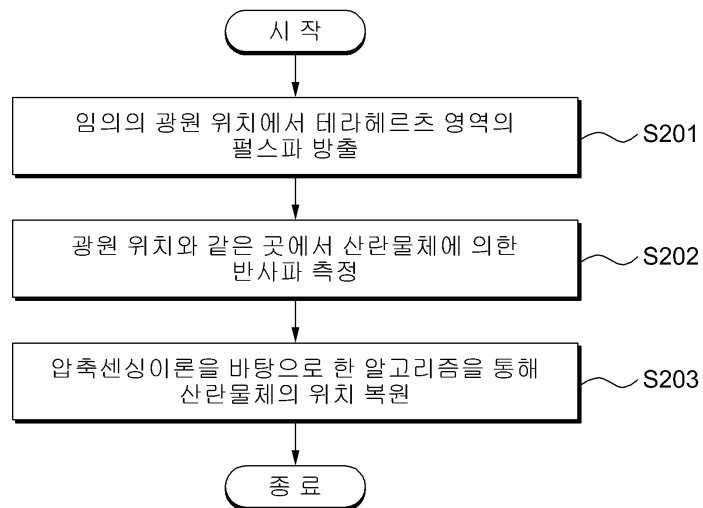
- [0058] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 3차원 공간에서의 물체의 위치를 복원하는 영상 복원 시스템의 구성을 도시한 도면이다.
- [0059] 도 2는 본 발명의 일실시예에서 3차원 공간에서의 물체의 위치를 복원하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- [0060] 도 3은 테라헤르츠 영역의 펄스를 이용하여 3차원 공간 내 물체의 위치를 산출하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- [0061] 도 4는 3차원 공간으로부터 측정된 반사파를 설명하기 위한 도면이다.
- [0062] 도 5는 압축 센싱 이론에 적용하여 3차원 공간 내 물체의 위치를 산출하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- [0063] <도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>
- [0064] 110: 광학계
- [0065] 111: 펄스 생성부
- [0066] 113: 펄스 수신부
- [0067] 130: 영상 복원부

도면

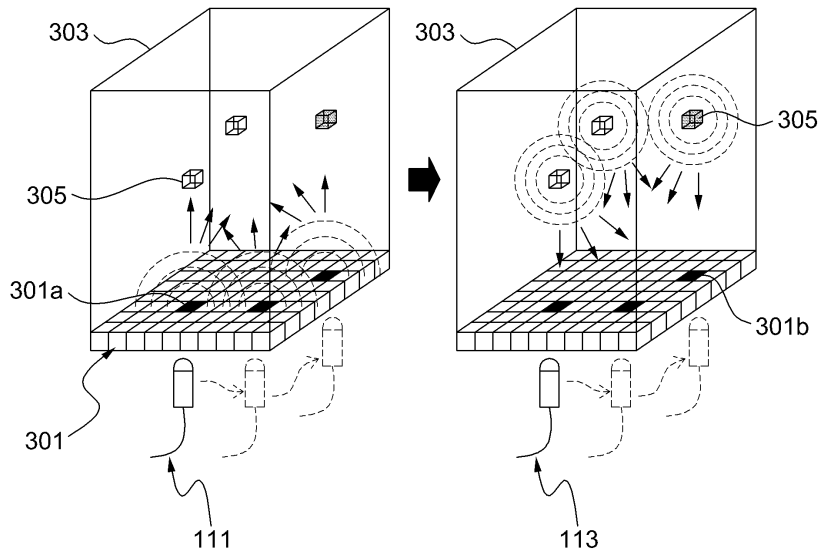
도면1



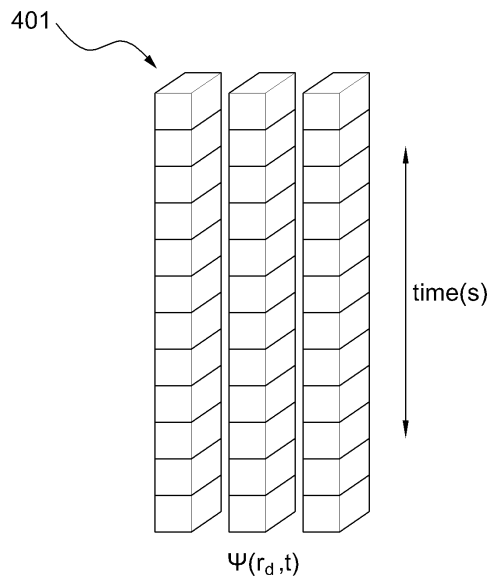
도면2



도면3



도면4



도면5

