



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0023043

(43) 공개일자 2025년02월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01M 11/02 (2019.01) G01N 21/41 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G01M 11/0228 (2013.01)
G01N 21/41 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0104012

(22) 출원일자 2023년08월09일

심사청구일자 2023년08월09일

(71) 출원인

국립한밭대학교 산학협력단

대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)

(72) 발명자

신재민

대전광역시 서구 도안동로 234, 320-802

(74) 대리인

특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 축 대칭성인 매질에 대한 전체파의 크기를 측정하여 그로부터 위상을 복원하고, 복원된 전체파의 위상을 이용해 매질의 굴절률을 재구성하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711157175
과제번호	2017R1E1A1A03070498
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	전략과제
연구과제명	광통신에서 역산란 문제의 응용
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한밭대학교
연구기간	2017.09.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

측 대칭성인 매질에 입사된 입사파 및 상기 매질로부터 산란된 산란파를 포함하는 전체파의 크기를 측정하는 데이터 측정부;

상기 측정된 전체파의 크기에 기초하여 푸리에 계수를 산출하여 상기 전체파의 위상을 복원하는 위상 복원부; 및

상기 복원된 위상을 포함하는 전체파에 기초하여 상기 매질의 굴절률을 재구성하는 굴절률 재구성부;를 포함하는 것

을 특징으로 하는 측 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 데이터 측정부는,

상기 매질과 소정의 거리 이상 이격된 위치에 배치된 것

을 특징으로 하는 측 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

위상 복원부는,

임의의 자연수에 대하여 상기 측정된 전체파의 크기의 제곱과 근사한 제1 푸리에 급수를 만족하는 제1 푸리에 계수를 산출하는 것

을 특징으로 하는 측 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 위상 복원부는,

상기 산출된 제1 푸리에 계수에 기초하여 기저장된 수식 a를 만족하는 제1 근을 산출하고, 기저장된 수식 b를 만족하는 제2 근을 산출하는 것

을 특징으로 하는 측 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 위상 복원부는,

상기 수식 b를 만족하는 복수의 제2 근들 중, 크기가 1보다 큰 제2 근을 선정하는 것

을 특징으로 하는 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 위상 복원부는,

상기 산출된 제1 근들 중, 상기 선정된 제2 근과 유사한 값을 가지는 제1 근을 선정하고, 상기 선정된 제1 근에 기초하여 상기 전체파의 위상을 복원하는 것

을 특징으로 하는 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 굴절률 재구성부는,

상기 복원된 위상을 포함하는 전체파에 대한 제2 푸리에 계수를 만족하는 제2 푸리에 계수를 산출하고, 상기 산출된 제2 푸리에 계수가 만족하는 기저장된 수식 c를 이산화하여 수식 d를 산출하는 것

을 특징으로 하는 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 굴절률 재구성부는,

상기 산출된 수식 d에 특이값 분해를 적용하여 상기 매질의 굴절률을 재구성하는 것

을 특징으로 하는 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템.

청구항 9

(a) 축 대칭성인 매질에 입사된 입사파 및 상기 매질로부터 산란된 산란파를 포함하는 전체파의 크기를 측정하는 단계;

(b) 상기 측정된 전체파의 크기에 기초하여 푸리에 계수를 산출하는 단계;

(c) 상기 산출된 푸리에 계수에 기초하여 상기 전체파의 위상을 복원하는 단계; 및

(d) 상기 복원된 위상을 포함하는 전체파에 기초하여 상기 매질의 굴절률을 재구성하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 단계 (a)는,

상기 매질과 소정의 거리 이상 이격된 위치에서 상기 전체파의 크기를 측정하는 것

을 특징으로 하는 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 단계 (b)는,

임의의 자연수에 대하여 상기 측정된 전체파의 크기의 제곱과 근사한 제1 푸리에 급수를 만족하는 제1 푸리에 계수를 산출하는 것

을 특징으로 하는 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 방법.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 단계 (c)는,

(c1) 상기 산출된 제1 푸리에 계수에 기초하여 기저장된 수식 a를 만족하는 제1 근을 산출하는 단계;

(c2) 기저장된 수식 b를 만족하는 제2 근을 산출하는 단계; 및

(c3) 상기 산출된 제1 근 및 제2 근에 기초하여 상기 전체파의 위상을 복원하는 단계;를 더 포함하는 것

을 특징으로 하는 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 단계 (c2)는,

상기 수식 b를 만족하는 복수의 제2 근들 중, 크기가 1보다 큰 제2 근을 선정하는 것

을 특징으로 하는 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 단계 (c3)는,

상기 산출된 제1 근들 중, 상기 선정된 제2 근과 유사한 값을 가지는 제1 근을 선정하고, 상기 선정된 제1 근에 기초하여 상기 전체파의 위상을 복원하는 것

을 특징으로 하는 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 방법.

청구항 15

제9항에 있어서,

상기 단계 (d)는,

(d1) 상기 복원된 위상을 포함하는 전체파에 대한 제2 푸리에 급수를 만족하는 제2 푸리에 계수를 산출하는 단계;

(d2) 상기 산출된 제2 푸리에 계수가 만족하는 기저장된 수식 c 를 이산화하여 수식 d 를 산출하는 단계; 및
 (d3) 상기 산출된 수식 d 에 특이값 분해를 적용하여 상기 매질의 굴절률을 재구성하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 축 대칭성인 매질에 대한 전체파의 크기를 측정하여 그로부터 위상을 복원하고, 복원된 전체파의 위상을 이용해 매질의 굴절률을 재구성하는 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 광섬유 검사기술에 주로 적용되는 비파괴검사는 대상체를 파괴시키지 않고 매질에 입사된 입사파가 산란되는 산란파를 분석하여 광섬유 코어의 굴절률 변화, 불순물, 결함 등을 파악하는 것으로, 이를 통해 제조공정을 최적화하고 광섬유의 성능을 향상시키기 위해 사용되고 있다. 다만, 비파괴검사에서 매질의 입사파 및 산란파의 합인 전체파 또는 산란파의 위상을 측정하는 것이 크기를 측정하는 것보다 어렵고, 특히 높은 파수에서는 위상측정이 불가능하거나 정밀한 측정기가 필요하여 비용이 많이 드는 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 일본 등록특허공보 제5168168호("굴절률 측정 장치", 등록일 2013.01.11.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 상기한 바와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 본 발명에 의한 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템 및 그 방법의 목적은, 축 대칭성인 매질에 대해 측정된 전체파의 크기를 이용해 전체파의 위상을 복원하여 매질의 굴절률을 재구성함으로써 비파괴검사의 효율성을 높일 수 있는 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템 및 그 방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0005] 상기한 바와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템은, 축 대칭성인 매질에 입사된 입사파 및 상기 매질로부터 산란된 산란파를 포함하는 전체파의 크기를 측정하는 데이터 측정부, 상기 측정된 전체파의 크기에 기초하여 푸리에 계수를 산출하여 상기 전체파의 위상을 복원하는 위상 복원부 및 상기 복원된 위상을 포함하는 전체파에 기초하여 상기 매질의 굴절률을 재구성하는 굴절률 재구성부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0006] 또한, 상기 데이터 측정부는 상기 매질과 소정의 거리 이상 이격된 위치에 배치된 것을 특징으로 한다.

[0007] 또한, 위상 복원부는 임의의 자연수에 대하여 상기 측정된 전체파의 크기의 제곱과 근사한 제1 푸리에 급수를 만족하는 제1 푸리에 계수를 산출하는 것을 특징으로 한다.

[0008] 또한, 상기 위상 복원부는 상기 산출된 제1 푸리에 계수에 기초하여 기저장된 수식 a 를 만족하는 제1 근을 산출하고, 기저장된 수식 b 를 만족하는 제2 근을 산출하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 또한, 상기 위상 복원부는 상기 수식 b 를 만족하는 복수의 제2 근들 중, 크기가 1보다 큰 제2 근을 선정하는 것을 특징으로 한다.

[0010] 또한, 상기 위상 복원부는 상기 산출된 제1 근들 중, 상기 선정된 제2 근과 유사한 값을 가지는 제1 근을 선정하고, 상기 선정된 제1 근에 기초하여 상기 전체파의 위상을 복원하는 것을 특징으로 한다.

- [0011] 또한, 상기 굴절률 재구성부는 상기 복원된 위상을 포함하는 전체파에 대한 제2 푸리에 급수를 만족하는 제2 푸리에 계수를 산출하고, 상기 산출된 제2 푸리에 계수가 만족하는 기저장된 수식 c를 이산화하여 수식 d를 산출하는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 또한, 상기 굴절률 재구성부는 상기 산출된 수식 d에 특이값 분해를 적용하여 상기 매질의 굴절률을 재구성하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 상기한 바와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 측 대칭성 매질의 굴절률 재구성 방법은, (a) 측 대칭성인 매질에 입사된 입사파 및 상기 매질로부터 산란된 산란파를 포함하는 전체파의 크기를 측정하는 단계, (b) 상기 측정된 전체파의 크기에 기초하여 푸리에 계수를 산출하는 단계, (c) 상기 산출된 푸리에 계수에 기초하여 상기 전체파의 위상을 복원하는 단계 및 (d) 상기 복원된 위상을 포함하는 전체파에 기초하여 상기 매질의 굴절률을 재구성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 또한, 상기 단계 (a)는 상기 매질과 소정의 거리 이상 이격된 위치에서 상기 전체파의 크기를 측정하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 또한, 상기 단계 (b)는, 임의의 자연수에 대하여 상기 측정된 전체파의 크기의 제곱과 근사한 제1 푸리에 급수를 만족하는 제1 푸리에 계수를 산출하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 또한, 상기 단계 (c)는 (c1) 상기 산출된 제1 푸리에 계수에 기초하여 기저장된 수식 a를 만족하는 제1 근을 산출하는 단계, (c2) 기저장된 수식 b를 만족하는 제2 근을 산출하는 단계 및 (c3) 상기 산출된 제1 근 및 제2 근에 기초하여 상기 전체파의 위상을 복원하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 또한, 상기 단계 (c2)는 상기 수식 b를 만족하는 복수의 제2 근들 중, 크기가 1보다 큰 제2 근을 선정하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 또한, 상기 단계 (c3)는 상기 산출된 제1 근들 중, 상기 선정된 제2 근과 유사한 값을 가지는 제1 근을 선정하고, 상기 선정된 제1 근에 기초하여 상기 전체파의 위상을 복원하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 또한, 상기 단계 (d)는 (d1) 상기 복원된 위상을 포함하는 전체파에 대한 제2 푸리에 급수를 만족하는 제2 푸리에 계수를 산출하는 단계, (d2) 상기 산출된 제2 푸리에 계수가 만족하는 기저장된 수식 c를 이산화하여 수식 d를 산출하는 단계 및 (d3) 상기 산출된 수식 d에 특이값 분해를 적용하여 상기 매질의 굴절률을 재구성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0020] 상기한 바와 같은 본 발명에 의한 측 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템 및 그 방법에 의하면, 전체파 또는 산란파의 크기 및 위상을 모두 측정하지 않고, 전체파의 크기만을 측정하여 위상을 복원하므로 비용 절감 및 비파괴검사의 효율성을 높일 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 측 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템을 나타낸 구성 예시도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 측 대칭성 매질의 굴절률 재구성 방법을 나타낸 순서 예시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 상술한 본 발명의 목적, 특징 및 장점은 첨부된 도면과 관련한 다음의 실시예를 통하여 보다 분명해질 것이다. 이하의 특정한 구조 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서 또는 출원에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 본 발명의 개념에 따른 실시예는 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 특정 실시예들은 도면에 예시하고 본 명세서 또는 출원에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시 형태에 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. '제1 및' 또는 '제2' 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소들로부터 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명

될 수 있고, 유사하게 제2 구성 요소는 제1 구성 요소로도 명명될 수 있다. 어떠한 구성 요소가 다른 구성 요소에 연결되어 있다거나 접속되어 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성 요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떠한 구성 요소가 다른 구성 요소에 직접 연결되어 있다거나 또는 직접 접속되어 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성 요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하기 위한 다른 표현들, 즉 '~사이에' 와 '바로 ~사이에' 또는 '~에 인접하는' 과 '~에 직접 인접하는' 등의 표현도 마찬가지로 해석되어야 한다. 본 명세서에서 사용하는 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서 포함하다 또는 가지다 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다. 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다. 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써 본 발명을 상세히 설명하도록 한다. 각 도면에 제시된 동일한 참조부호는 동일한 부재를 나타낸다.

- [0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템을 나타낸 구성 예시도이다. 도 1을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템을 자세히 알아보도록 한다.
- [0024] 본 발명의 일 실시예에 따른 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템은 도 1에 도시된 바와 같이, 데이터 측정부(100), 위상 복원부(200) 및 굴절률 재구성부(300)을 포함할 수 있다. 각 구성들은 컴퓨터 등을 포함하는 적어도 하나 이상의 연산처리수단에 각각 또는 통합 포함되어 동작을 수행하는 것이 바람직하다.
- [0025] 각 구성에 대해서 자세히 알아보자면,
- [0026] 상기 데이터 측정부(100)는 축 대칭성인 매질에 입사된 입사파 및 상기 매질로부터 산란된 산란파를 포함하는 전체파의 크기를 측정할 수 있다.
- [0027] 여기서, 본 발명에서의 입사파는 평면파로, 하기의 수학식 1과 같이 정의될 수 있다.

수학식 1

$$u_i = \exp(ikr \cos \theta)$$

- [0028]
- [0029] (여기서, k 는 입사파의 파수이고, r 은 극좌표계의 반지름 성분이고, θ 는 극좌표계의 각도 성분이다.)
- [0030] 또한, 상기 데이터 측정부(100)는 상기 매질과 소정의 거리 이상 이격된 위치에 배치될 수 있다.
- [0031] 상기 위상 복원부(200)는 상기 측정된 전체파의 크기에 기초하여 푸리에 계수를 산출하여 상기 전체파의 위상을 복원할 수 있다.
- [0032] 전체파의 위상을 복원하는 과정에 대해 자세히 알아보자면,
- [0033] 상기 위상 복원부(200)는 임의의 자연수에 대하여 상기 측정된 전체파의 크기의 제곱과 근사한 제1 푸리에 급수를 만족하는 제1 푸리에 계수를 산출할 수 있다.
- [0034] 이 때, 상기 측정된 전체파의 크기의 제곱과 근사한 제1 푸리에 급수는 하기의 수학식 2와 같이 정의할 수 있다.

수학식 2

$$|u(\theta)|^2 \approx \sum_{n=-2N}^{2N} \gamma_n e^{in\theta}$$

[0035]

[0036] (여기서, γ_n 은 제1 푸리에 계수이고, θ 는 극좌표계의 각도 성분이고, N 은 임의의 자연수이다.)

[0037] 이를 통해서, 상기 위상 복원부(200)는 임의의 자연수 N 에 대하여 $n=-2N$ 부터 $2N$ 까지 총 $4N+1$ 개의 제1 푸리에 계수를 산출하게 된다.

[0038] 예를 들어, 임의의 자연수 2에 대한 상기 제1 푸리에 급수를 만족하는 제1 푸리에 계수를 산출한다고 가정한다면, 상기 위상 복원부(200)는 -4부터 4까지 즉, 9개의 푸리에 계수를 산출하게 되는 것이다.

[0039] 상기 위상 복원부(200)는 상기 산출된 제1 푸리에 계수에 기초하여 기저장된 수식 a 를 만족하는 제1 근을 산출하고, 기저장된 수식 b 를 만족하는 제2 근을 산출하는 것을 특징으로 한다.

[0040] 이 때, 상기 수식 a 는 하기의 수학식 3과 같이 정의될 수 있다.

수학식 3

$$\sum_{n=0}^{4N} \gamma_{n-2N} z^n = 0$$

[0041]

[0042] 이를 통해서, 상기 위상 복원부(200)는 총 $4N$ 개의 제1 근을 산출하게 된다.

[0043] 또한, 상기 수식 b 는 하기의 수학식 4와 같이 정의될 수 있다.

수학식 4

$$\sum_{n=-N}^N i^n J_n(kR) z^{N+n} = 0$$

[0044]

[0045] (여기서, i^n 은 허수의 n 제곱이고,

[0046] J_n 은 제1종 n 차 베셀함수이고,

[0047] k 는 입사파의 파수이고,

[0048] R 은 매질의 중심부를 기준으로 전체파의 크기를 측정하는 위치까지의 거리이다.)

[0049] 이를 통해서, 상기 위상 복원부(200)는 총 $2N$ 개의 제2 근을 산출하게 된다.

[0050] 상기 위상 복원부(200)는 상기 수식 b 를 만족하는 복수의 제2 근들 중, 크기가 1보다 큰 제2 근을 선정할 수 있다. 즉, 크기가 1보다 큰 N 개의 제2 근을 선정하는 것이다.

[0051] 또한, 상기 위상 복원부(200)는 상기 산출된 제1 근들 중, 상기 선정된 제2 근과 유사한 값을 가지는 제1 근을 선정하고, 상기 선정된 제1 근에 기초하여 상기 전체파의 위상을 복원할 수 있다.

[0052] 다시 말하자면, 상기 산출된 $4N$ 개의 제1 근들 중, 상기 선정된 N 개의 제2 근과 유사한 값을 가지는 제1 근을 선

정하고, 상기 선정된 제1 근을 이용하여 위상이 복원된 전체파를 도출하는 것이다.

[0053] 이 때, 상기 위상이 복원된 전체파는 하기의 수학식 5와 같이 근사하여 정의될 수 있다.

수학식 5

$$u(\theta) \approx i^N J_N(kR) \prod_{n=1}^N (e^{i\theta} - \zeta_n)(1 - e^{-i\theta}/\zeta_n)$$

[0055] (여기서, i^N 은 허수의 N제곱이고,

[0056] J_N 은 제1종 N차 베셀함수이고,

[0057] ζ_n 는 크기가 1보다 큰 제2 근과 유사한 값을 가지는 제1 근이다.)

[0058] 요약하자면, 상기 위상 복원부(200)는 측정된 전체파의 크기의 제곱과 근사한 제1 푸리에 계수를 만족하는 제1 푸리에 계수를 산출하고, 상기 제1 푸리에 계수를 기초로 한 수식 a와, 임의로 표현된 수식 b를 만족하는 제1 근 및 제 2근을 산출하여 전체파의 위상을 복원함으로써, 위상 및 크기를 모두 포함하는 전체파를 도출하게 되는 것이다.

[0059] 이로 인해, 본 발명의 일 실시예에 따른 측 대칭성 매질의 굴절을 재구성 시스템은 전체파 또는 산란파의 크기 및 위상을 모두 측정하지 않고, 전체파의 크기만을 측정하여 위상을 복원할 수 있어 비용 절감 및 비파괴검사의 효율성을 높일 수 있는 장점이 있다.

[0060] 상기 굴절률 재구성부(300)는 상기 복원된 위상을 포함하는 전체파에 기초하여 상기 매질의 굴절을 재구성할 수 있다.

[0061] 위상이 복원된 전체파를 이용해 매질의 굴절을 재구성하는 과정에 대해 자세히 알아보자면,

[0062] 상기 굴절률 재구성부(300)는 상기 복원된 위상을 포함하는 전체파에 대한 제2 푸리에 계수를 만족하는 제2 푸리에 계수를 산출하고, 상기 산출된 제2 푸리에 계수가 만족하는 기저장된 수식 c를 이산화하여 수식 d를 산출할 수 있다.

[0063] 이 때, 상기 제2 푸리에 계수는 하기의 수학식 6과 같이 정의될 수 있다.

수학식 6

$$i^N J_N(kR) \prod_{n=1}^N (e^{i\theta} - \zeta_n)(1 - e^{-i\theta}/\zeta_n) = \sum_{n=0}^N \beta_n e^{in\theta} + \sum_{n=1}^N \beta_n e^{-in\theta}$$

[0065] (여기서, β_n 는 제2 푸리에 계수이다.)

[0066] 이를 통해서, 상기 굴절률 재구성부(300)는 총 N+1개의 제2 푸리에 계수를 산출하게 된다.

[0067] 또한, 상기 수식 c는 하기의 수학식 7과 같이 정의될 수 있다.

수학식 7

$$\beta_n = i^n J_n(kR) + \frac{i^{n-1} k^2 \pi}{2} H_n^{(1)}(kR) \int_0^R r J_n^2(kr) (1 - m(r)) dr, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N$$

[0069] (여기서, $H_n^{(1)}$ 은 제1종 n차 한켈함수이고, $m(r)$ 은 매질의 굴절률이다.)

[0070] 이 때, 상기 수식식 7은 $|1 - m(r)|$ 이 충분히 작아야 만족한다.

[0071] 또한, 상기 수식 c를 이산화하여 산출된 수식 d는 하기의 수식식 8과 같이 정의될 수 있다.

수식식 8

$$\sum_{l=1}^L \omega_l r_l J_n^2(k r_l) m(r_l) = \sum_{l=1}^L \omega_l r_l J_n^2(k r_l) + \frac{2(i^n J_n(kR) - \beta_n)}{i^{n-1} k^2 \pi H_n^{(1)}(kR)}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N$$

[0073] (여기서, $r_l = l \frac{R}{L}$ ($l = 1, 2, \dots, L$) 은 구간 $[0, R]$ 을 L등분한 마디점이고,

[0074] ω_l 은 수식식 7의 수치적분에 대한 가중치이고,

[0075] $m(r_l)$ 은 r_l 에서의 매질의 굴절률이다.)

[0076] 상기 굴절률 재구성부(300)는 상기 산출된 수식 d에 특이값 분해를 적용하여 상기 매질의 굴절률을 재구성할 수 있다.

[0077] 상세하게는, 상기 수식식 8을 선형 방정식 $AX=B$ 의 형태로 나타냈을 때, X의 성분은 $m(r_l)$ 로, r_l 에서의 매질의 굴절률이다. 따라서, 특이값 분해를 적용하여 X를 구함으로써 r_l 에서의 매질의 굴절률 $m(r_l)$ 을 재구성하게 되는 것이다.

[0078] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 방법을 나타낸 순서 예시도이다. 도 2를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 방법을 자세히 알아보도록 한다.

[0079] 본 발명의 일 실시예에 따른 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 방법은 도 2에 도시된 바와 같이, (a) 축 대칭성인 매질에 입사된 입사파 및 상기 매질로부터 산란된 산란파를 포함하는 전체파의 크기를 측정하는 단계(S100), (b) 상기 측정된 전체파의 크기에 기초하여 푸리에 계수를 산출하는 단계(S200), (c) 상기 산출된 푸리에 계수에 기초하여 상기 전체파의 위상을 복원하는 단계(S300) 및 (d) 상기 복원된 위상을 포함하는 전체파에 기초하여 상기 매질의 굴절률을 재구성하는 단계(S400)를 포함할 수 있다. 각 단계는 컴퓨터로 구현되는 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템에 의해 수행되는 것이 바람직하며, 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템은 하나의 연산처리수단에 통합되어 또는, 각각의 연산처리수단에 분산되어 구성될 수 있으며, 이에 대해서는 한정하는 것은 아니다.

[0080] 상기 단계 (a)는 축 대칭성인 매질에 입사된 입사파 및 상기 매질로부터 산란된 산란파를 포함하는 전체파의 크기를 측정할 수 있다.

[0081] 이 때, 상기 단계 (a)는 상기 매질과 소정의 거리 이상 이격된 위치에서 상기 전체파의 크기를 측정할 수 있다.

[0082] 상기 단계 (b)는 상기 측정된 전체파의 크기에 기초하여 푸리에 계수를 산출할 수 있다.

[0083] 상세하게는, 상기 단계 (b)는 임의의 자연수에 대하여 상기 측정된 전체파의 크기의 제1 푸리에 급수를 만족하는 제1 푸리에 계수를 산출할 수 있다.

[0084] 이 때, 상기 측정된 전체파의 크기의 제1 푸리에 급수는 상기의 수식식 2와 같이 정의될 수 있다. 상기 수식식 2를 통해서 상기 단계 (b)는 $n=-2N$ 부터 $2N$ 까지 총 $4N+1$ 개의 제1 푸리에 계수를 산출하게 된다.

[0085] 상기 단계 (c)는 상기 산출된 푸리에 계수에 기초하여 상기 전체파의 위상을 복원할 수 있다.

[0086] 상세하게는, 상기 단계 (c)는 (c1) 상기 산출된 제1 푸리에 계수에 기초하여 기저장된 수식 a를 만족하는 제1

근을 산출하는 단계(S310), (c2) 기저장된 수식 b를 만족하는 제2 근을 산출하는 단계(S320) 및 (c3) 상기 산출된 제1 근 및 제2 근에 기초하여 상기 전체파의 위상을 복원하는 단계(S330)를 더 포함할 수 있다.

- [0087] 상기 단계 (c1)은 상기 산출된 제1 푸리에 계수에 기초하여 기저장된 수식 a를 만족하는 제1 근을 산출할 수 있다.
- [0088] 이 때, 상기 수식 a는 상기의 수학식 3과 같이 정의될 수 있다. 상기 수학식 3을 통해서 상기 단계 (c1)은 총 4N개의 제1 근을 산출하게 된다.
- [0089] 상기 단계 (c2)는 기저장된 수식 b를 만족하는 제2 근을 산출할 수 있다.
- [0090] 이 때, 상기 수식 b는 상기의 수학식 4와 같이 정의될 수 있다. 상기 수학식 4를 통해서 상기 단계(c2)는 총 2N개의 제2 근을 산출하게 된다.
- [0091] 또한, 상기 단계 (c2)는 상기 수식 b를 만족하는 복수의 제2 근들 중, 크기가 1보다 큰 제2 근을 선정할 수 있다. 즉, 크기가 1보다 큰 N개의 제2 근을 선정하는 것이다.
- [0092] 상기 단계(c3)는 상기 산출된 제1 근 및 제2 근에 기초하여 상기 전체파의 위상을 복원할 수 있다.
- [0093] 상세하게는, 상기 산출된 제1 근들 중, 상기 선정된 제2 근과 유사한 값을 가지는 제1 근을 선정하고, 상기 선정된 제1 근에 기초하여 상기 전체파의 위상을 복원할 수 있다.
- [0094] 다시 말하자면, 상기 산출된 4N개의 제1 근들 중, 상기 선정된 N개의 제2 근과 유사한 값을 가지는 제1 근을 선정하고, 상기 선정된 제1 근을 이용하여 위상이 복원된 전체파를 도출하게 된다.
- [0095] 이 때, 상기 위상이 복원된 전체파는 상기의 수학식 5와 같이 근사하여 정의될 수 있다.
- [0096] 요약하자면, 상기 단계 (c)는 측정된 전체파의 크기의 제곱과 근사한 제1 푸리에 급수를 만족하는 제1 푸리에 계수를 산출하고, 상기 제1 푸리에 계수를 기초로 한 수식 a와, 임의로 표현된 수식 b를 만족하는 제1 근 및 제2근을 산출하여 전체파의 위상을 복원함으로써, 위상 및 크기를 모두 포함하는 전체파를 도출하게 된다.
- [0097] 이로 인해, 본 발명의 일 실시예에 따른 측 대칭성 매질의 굴절률 재구성 방법은 전체파 또는 산란파의 크기 및 위상을 모두 측정하지 않고, 전체파의 크기만을 측정하여 위상을 복원할 수 있어 비용 절감 및 비파괴검사의 효율성을 높일 수 있는 장점이 있다.
- [0098] 상기 단계 (d)는 상기 복원된 위상을 포함하는 전체파에 기초하여 상기 매질의 굴절률을 재구성할 수 있다.
- [0099] 상세하게는, 상기 단계 (d)는 (d1) 상기 복원된 위상을 포함하는 전체파에 대한 제2 푸리에 급수를 만족하는 제2 푸리에 계수를 산출하는 단계(S410), (d2) 상기 산출된 제2 푸리에 계수가 만족하는 기저장된 수식 c를 이산화하여 수식 d를 산출하는 단계(S420) 및 (d3) 상기 산출된 수식 d에 특이값 분해를 적용하여 상기 매질의 굴절률을 재구성하는 단계(S430)를 더 포함할 수 있다.
- [0100] 상기 단계 (d1)은 상기 복원된 위상을 포함하는 전체파에 대한 제2 푸리에 급수를 만족하는 제2 푸리에 계수를 산출할 수 있다.
- [0101] 이 때, 상기 제2 푸리에 급수는 상기의 수학식 6과 같이 정의될 수 있다. 상기 수학식 6을 통해서 상기 단계 (d1)은 N+1개의 제2 푸리에 계수를 산출하게 된다.
- [0102] 상기 단계 (d2)는 상기 산출된 제2 푸리에 계수가 만족하는 기저장된 수식 c를 이산화하여 수식 d를 산출할 수 있다.
- [0103] 이 때, 상기 수식 c는 상기의 수학식 7과 같이 정의될 수 있으며, $|1 - m(r)|$ 이 충분히 작아야 만족한다.
- [0104] 또한, 상기 수학식 7을 이산화하여 산출된 수식 d는 상기의 수학식 8과 같이 정의될 수 있다.
- [0105] 상기 단계 (d3)는 상기 산출된 수식 d에 특이값 분해를 적용하여 상기 매질의 굴절률을 재구성할 수 있다.
- [0106] 상세하게는, 상기 수학식 8을 선형 방정식 $AX=B$ 의 형태로 나타냈을 때, X의 성분은 $m(r_l)$ 로, r_l 에서의 매질의 굴절률이다. 따라서, 특이값 분해를 적용하여 X를 구함으로써 r_l 에서의 매질의 굴절률 $m(r_l)$ 을 재구성하게 되는 것이다.

[0107] 즉, 다시 말하자면, 본 발명의 일 실시예에 따른 축 대칭성 매질의 굴절률 재구성 시스템 및 그 방법은, 축 대칭성인 매질에 입사파 및 상기 매질로부터 산란된 산란파를 포함하는 전체파의 크기만을 측정하여 전체파의 위상을 복원하고, 위상이 복원된 전체파를 이용하여 매질의 굴절률을 재구성함으로써, 비용 절감 및 비파괴검사의 효율성을 높일 수 있는 장점이 있다.

[0108] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 설명하였으나, 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것일 뿐이다. 따라서, 본 발명의 기술 사상은 개시된 각각의 실시예뿐만 아니라, 개시된 실시예들의 조합을 포함하고, 나아가, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 또한, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가지는 자라면 첨부된 청구 범위의 사상 및 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대한 다수의 변경 및 수정이 가능하며, 그러한 모든 적절한 변경 및 수정은 균등물로서 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0109] 100 : 데이터 측정부
200 : 위상 복원부
300 : 굴절률 재구성부

도면

도면1



도면2

