



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0072061
(43) 공개일자 2020년06월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 29/06 (2006.01) G01N 29/07 (2006.01)
G01N 29/22 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 29/0654 (2013.01)
G01N 29/075 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0159797
(22) 출원일자 2018년12월12일
심사청구일자 2018년12월12일

(71) 출원인
한국표준과학연구원
대전 유성구 가정로 267(가정동, 한국표준과학연구원)
(주)에스엠인스트루먼트
대전광역시 유성구 유성대로1184번길 20(신성동)
(72) 발명자
박춘수
대전광역시 유성구 지족로 343(지족동, 반석마을아파트2단지) 204-1601
김미소
대전광역시 유성구 배울2로 61(관평동, 대덕테크노밸리10단지아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 플러스

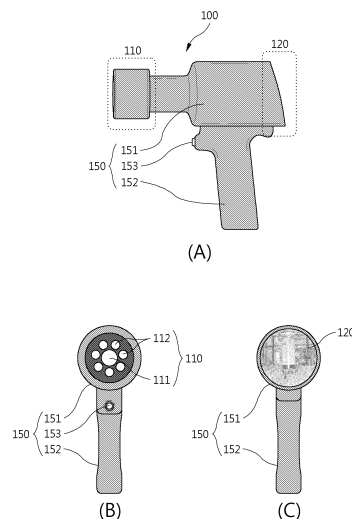
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 휴대용 고해상도 초음파 카메라

(57) 요약

본 발명은 산업설비, 기계류 등과 같은 대상설비에서 구성 요소 간의 상호 동작에 의해 자연 방사되는 초음파 발생 위치를 감지함으로써 대상설비의 이상을 진단하는데 사용되는 초음파 카메라에 관한 것이다. 본 발명의 목적은 일반화된 빔-형성 기법(functional beamforming method)을 이용하여 종래의 빔-형성 기법에 비해 적은 개수의 센서를 사용하면서도 높은 해상도의 측정 결과를 얻을 수 있도록 하는, 휴대용 고해상도 초음파 카메라를 제공함에 있다. 본 발명의 다른 목적은 종래의 초음파 카메라에 비하여 센서 개수를 줄이면서도 고성능을 가질 뿐만 아니라 중량 또한 저감함으로써, 경제성 및 휴대성을 동시에 향상할 수 있도록 하는, 휴대용 고해상도 초음파 카메라를 제공함에 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 29/226 (2013.01)

G01N 2291/012 (2013.01)

(72) 발명자

최원재

서울특별시 광진구 구천면로 29(광장동, 홍화빌라트)

김영기

대전광역시 서구 둔산로 155(둔산동, 크로바아파트)113동 1405호

김인권

대전광역시 유성구 신성로68번길 23(신성동) 202호

이광현

대전광역시 대덕구 계족로690번길 21(법동, 선비마을1단지아파트) 106동 1705호

이선형

대전광역시 중구 대둔산로420번길 114(산성동, 대원빌라)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 18011067

부처명 기본사업

연구관리전문기관 한국표준과학연구원

연구사업명 기관고유사업

연구과제명 3-1-2. 시설구조물 안전측정 기반기술 개발

기 여 율 25/100

주관기관 한국표준과학연구원

연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 17205007

부처명 중소벤처기업부

연구관리전문기관 중소기업기술정보진흥원

연구사업명 중소기업융복합기술개발사업

연구과제명 초음파와 영상을 활용한 설비 기계진단 측정장비 개발

기 여 율 25/100

주관기관 (주)에스엠인스트루먼트

연구기간 2016.12.14 ~ 2018.12.13

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 18371002

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 국가연구개발사업

연구과제명 대규모 용수공급관로의 정밀탐상장비 및 구조적 상태감시 시스템 개발

기 여 율 25/100

주관기관 한국표준과학연구원

연구기간 2017.04.01 ~ 2020.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 18571010

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 국가과학기술연구회

연구사업명 국가연구개발사업

연구과제명 IoT 센서 구동용 에너지 집속 기반 자율전원 기술 개발

기 여 율 25/100

주관기관 한국표준과학연구원

연구기간 2017.05.22 ~ 2022.05.21

명세서

청구범위

청구항 1

카메라(111)를 중심으로 복수 개의 음압센서(112)가 원형을 이루며 배치되어, 상기 카메라(111)에 의해 상기 카메라(111)가 향하는 방향의 영상을 취득하고 상기 음압센서(112)에 의해 상기 카메라(111)가 향하는 위치에서 발생하는 소음의 음압을 측정하는 측정수단(110);

상기 카메라(111)에 의해 취득된 영상 및 상기 음압센서(112)에 의해 측정된 음압분포를 겹쳐 표시하는 표시수단(120);

을 포함하는 것을 특징으로 하는 초음파 카메라.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 측정수단(110)은,

복수 개의 상기 음압센서(112)에 의해 측정된 음압파워(P) 및 시간지연(W)값을 일반화된 빔-형성 기법(functional beamforming method)을 이용하여 신호 처리함으로써 음압분포를 산출하는 것을 특징으로 하는 초음파 카메라.

청구항 3

제 2항에 있어서, 상기 측정수단(110)은,

하기의 식을 사용하여 빔 파워(BP)를 산출하는 것을 특징으로 하는 초음파 카메라.

$$BP_{\nu}(\theta) = \left[\overline{\mathbf{W}} \mathbf{C}^{\frac{1}{\nu}} \mathbf{W} \right]^{\nu}$$

(여기에서, BP: 빔 파워, $\mathbf{W}$: 시간지연 스캔벡터, $\mathbf{C}$: $\mathbf{C} = \mathbf{P}\mathbf{P}^H$ 로 계산되는 상호 스펙트럴 행렬, $\mathbf{P}$: 음압파워 행렬, ν : 1보다 큰 정수값)

청구항 4

제 1항에 있어서, 상기 측정수단(110)은,

상기 음압센서(112)가 5 내지 10개 범위 내로 이루어지는 것을 특징으로 하는 초음파 카메라.

청구항 5

제 4항에 있어서, 상기 측정수단(110)은,

복수 개의 상기 음압센서(112)들이, 측정하고자 하는 대상신호 파장의 1/2보다 큰 간격으로 배열되는 저밀도(sparse) 배열을 이루며 배치되는 것을 특징으로 하는 초음파 카메라.

청구항 6

제 4항에 있어서, 상기 측정수단(110)은,

복수 개의 상기 음압센서(112)들이, 상기 음압센서(112)의 측정가능범위가 형성하는 원의 외주면과 상기 카메라(111)의 외주면이 서로 접하는 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 초음파 카메라.

청구항 7

제 1항에 있어서, 상기 초음파 카메라(100)는,

일방향으로 연장되는 형태로 형성되어 일측 끝단에 상기 측정수단(110)이 형성되고 타측 끝단에 상기 표시수단(120)이 형성되는 본체부(151) 및 사용자 파지가 가능하도록 상기 본체부(151) 하방으로 연장되는 파지부(152)를 포함하는 몸체(150);

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 초음파 카메라.

청구항 8

제 7항에 있어서, 상기 몸체(150)는,

상기 측정수단(110) 및 상기 표시수단(120)의 작동 ON/OFF 제어를 위한 사용자 입력을 받도록, 버튼을 포함하는 사용자 입력이 가능한 형태로서 상기 파지부(152) 상에 형성되는 입력부(153)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 초음파 카메라.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 휴대용 고해상도 초음파 카메라에 관한 것으로, 보다 상세하게는 산업설비, 기계류 등과 같은 대상설비에서 구성 요소 간의 상호 동작에 의해 자연 방사되는 초음파 발생 위치를 감지함으로써 대상설비의 이상을 진단하는데 사용되는 초음파 카메라에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 산업설비, 특히 고전압이 인가되는 부품이나 설비, 장치의 경우 고전력에 따라 발생하는 열적 요인이나, 운전 시 발생하는 진동이나 충격 등과 같은 물리적 요인 등으로 인하여 손상이나 고장이 발생할 위험성이 높다. 이러한 산업설비에서 손상이나 고장이 발생할 경우 그 피해가 막대하기 때문에, 이러한 산업설비의 운전 중 이상 징후가 있는지 지속적으로 검사하는 것이 필요하다.

[0003] 이와 같은 산업설비, 기계류 등과 같은 대상설비에서 손상이 발생하면 해당 위치에서 구성 요소 간의 상호 동작에 의하여 초음파가 자연 방사된다는 점이 알려져 있다. 이에 따라 종래에도, 대상설비에서 방사되는 초음파를 검출함으로써 대상설비를 진단하는 초음파 카메라 장치가 개발되어 사용되고 있다. 한국특허등록 제1167918호("초고압 설비 부분방전 진단 장치", 2012.07.17.), 한국특허등록 제1477755호("초음파 기반의 아크 및 코로나 방전 감시진단 시스템이 탑재된 고압반, 저압반, 분전반, 모터제어반", 2014.12.23.) 등에 이러한 장치의 예시가 개시되어 있다.

[0004] 이러한 종래의 설비 진단을 위한 초음파 카메라는, 일반적으로 단일 개 또는 2~3개의 센서를 이용하여 측정된 파형 또는 가청영역대로 변조된 소리를 사용해서 어느 특정한 하나의 지점에서의 이상 여부를 진단하도록 이루어진다. 그런데, 이러한 종래기술의 경우 한 번 측정할 때 단일 지점에 대한 측정만이 이루어지게 되므로, 넓은 작업장을 검사하기 위해서는 많은 시간이 소요되는 문제가 있었다.

[0005] 이에 따라 이러한 설비 진단용 초음파 카메라에 다수의 센서 어레이를 이용하는 빔-형성 기법(beamforming method)을 이용한 소음원 위치 가시화 기법을 적용하고자 하는 시도가 이루어져 왔다. 빔-형성 기법이란 소음원과 측정 센서의 거리 차에 따른 측정신호의 위상 차이를 이용한 신호처리를 통하여 공간상의 소음원 강도 분포를 계산하고, 이의 강/약에 따라 소음원의 위치를 추정하는 기법을 말한다. 이러한 빔-형성 기법에서 측정 정밀도는 사용 센서의 개수에 따라 결정되는데, 일반적으로 많은 개수의 센서를 사용할수록 그 성능이 향상되는 것으로 알려져 있다.

[0006] 상술한 바와 같이 빔-형성 기법은 센서의 개수가 많을수록 성능이 향상되므로, 기존의 빔-형성 기법을 적용한 초음파 카메라의 경우 20개 이상의 다수 개의 센서를 포함하도록 제작되었다. 그런데 이처럼 많은 개수의 센서를 포함할 경우 장치 단가가 지나치게 상승하는 문제점이 있었다. 뿐만 아니라 기존의 초음파 카메라는 상당히 무게가 무거워 작업자가 휴대하고 다니기도 불편할뿐더러 오랜 시간 동안 검사하기 어려운 문제 또한 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 1. 한국특허등록 제1167918호("초고압 설비 부분방전 진단 장치", 2012.07.17.)
(특허문헌 0002) 2. 한국특허등록 제1477755호("초음파 기반의 아크 및 코로나 방전 감시진단 시스템이 탑재된 고압반, 저압반, 분전반, 모터제어반", 2014.12.23.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 따라서, 본 발명은 상기한 바와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 일반화된 빔-형성 기법(functional beamforming method)을 이용하여 종래의 빔-형성 기법에 비해 적은 개수의 센서를 사용하면서도 높은 해상도의 측정 결과를 얻을 수 있도록 하는, 휴대용 고해상도 초음파 카메라를 제공함에 있다. 본 발명의 다른 목적은 종래의 초음파 카메라에 비하여 센서 개수를 줄이면서도 고성능을 가질 뿐만 아니라 중량 또한 저감함으로써, 경제성 및 휴대성을 동시에 향상할 수 있도록 하는, 휴대용 고해상도 초음파 카메라를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 초음파 카메라(100)는, 카메라(111)를 중심으로 복수 개의 음압센서(112)가 원형을 이루며 배치되어, 상기 카메라(111)에 의해 상기 카메라(111)가 향하는 방향의 영상을 취득하고 상기 음압센서(112)에 의해 상기 카메라(111)가 향하는 위치에서 발생하는 소음의 음압을 측정하는 측정수단(110); 상기 카메라(111)에 의해 취득된 영상 및 상기 음압센서(112)에 의해 측정된 음압분포를 겹쳐 표시하는 표시수단(120); 을 포함할 수 있다.

[0010] 이 때 상기 측정수단(110)은, 복수 개의 상기 음압센서(112)에 의해 측정된 음압파워(P) 및 시간지연(W)값을 일반화된 빔-형성 기법(functional beamforming method)을 이용하여 신호 처리함으로써 음압분포를 산출할 수 있다. 보다 구체적으로는, 상기 측정수단(110)은, 하기의 식을 사용하여 빔 파워(BP)를 산출할 수 있다.

$$BP_{\nu}(\theta) = \left[\overline{WC}^{\frac{1}{\nu}} W \right]^{\nu}$$

[0012] (여기에서, BP: 빔 파워, W : 시간지연 스캔벡터, $C: C=PP^H$ 로 계산되는 상호 스펙트럴 행렬, P : 음압파워 행렬, ν : 1보다 큰 정수값)

[0013] 또한 상기 측정수단(110)은, 상기 음압센서(112)가 5 내지 10개 범위 내로 이루어질 수 있다. 이 때 상기 측정수단(110)은, 복수 개의 상기 음압센서(112)들이, 측정하고자 하는 대상신호 파장의 1/2보다 큰 간격으로 배열되는 저밀도(sparse) 배열을 이루며 배치될 수 있다. 또한 상기 측정수단(110)은, 복수 개의 상기 음압센서(112)들이, 상기 음압센서(112)의 측정가능범위가 형성하는 원의 외주면과 상기 카메라(111)의 외주면이 서로 접하는 위치에 배치될 수 있다.

[0014] 더불어 상기 초음파 카메라(100)는, 일방향으로 연장되는 형태로 형성되어 일측 끝단에 상기 측정수단(110)이 형성되고 타측 끝단에 상기 표시수단(120)이 형성되는 본체부(151) 및 사용자 파지가 가능하도록 상기 본체부(151) 하방으로 연장되는 파지부(152)를 포함하는 몸체(150); 를 더 포함할 수 있다.

[0015] 이 때 상기 몸체(150)는, 상기 측정수단(110) 및 상기 표시수단(120)의 작동 ON/OFF 제어를 위한 사용자 입력을 받도록, 버튼을 포함하는 사용자 입력이 가능한 형태로서 상기 파지부(152) 상에 형성되는 입력부(153)를 더 포

함할 수 있다.

발명의 효과

[0016] 본 발명에 의하면, 일반화된 빔-형성 기법(functional beamforming method)을 이용하여 종래의 빔-형성 기법에 비해 적은 개수의 센서를 사용하면서도 높은 해상도의 측정 결과를 얻을 수 있는 효과가 있다. 특히 본 발명에 의하면, 최적화된 센서의 개수 및 배치 형태를 제공함으로써 저밀도 배열을 실현하면서도 고해상도 성능을 얻을 수 있게 하는 큰 효과가 있다.

[0017] 더불어 본 발명에 의하면, 종래의 초음파 카메라에 비하여 센서 개수를 줄이면서도 고성능을 가질 뿐 아니라 중량 및 부피 또한 저감함으로써, 경제성 및 휴대성을 동시에 향상할 수 있는 큰 효과가 있다. 이에 따라 종래에 초음파 카메라를 사용하여 대상설비를 진단하는 작업을 수행하는 사용자가 카메라 중량 때문에 이동이나 장시간의 진단 작업이 어려웠던 문제점을 일거에 해결하는 효과 또한 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 초음파 카메라의 실시예.

도 2는 빔-형성 기법 원리 설명.

도 3은 고전적인 빔-형성 기법을 사용하는 종래의 초음파 카메라의 센서 배치 예시.

도 4는 고전적인 빔-형성 기법 및 일반화된 빔-형성 기법 비교.

도 5는 일반화된 빔-형성 기법을 사용하는 본 발명의 초음파 카메라의 센서 배치 예시.

도 6은 종래 및 본 발명의 초음파 카메라의 센서 배치 비교.

도 7 및 도 8은 종래 및 본 발명의 초음파 카메라를 이용한 측정 비교.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하, 상기한 바와 같은 구성을 가지는 본 발명에 의한 휴대용 고해상도 초음파 카메라를 첨부된 도면을 참고하여 상세하게 설명한다.

[0020] 본 발명의 초음파 카메라의 구성

[0021] 도 1은 본 발명의 초음파 카메라의 실시예를 도시하고 있다. 본 발명의 초음파 카메라(100)는 도 1(A)에 도시된 바와 같이 기본적으로 영상 및 음압을 측정하는 측정수단(110) 및 측정결과를 시각적으로 표시하는 표시수단(120)을 포함한다. 또한 상기 초음파 카메라(100)는 역시 도 1(A)에 도시된 바와 같이 상기 측정수단(110) 및 상기 표시수단(120)을 일체화하여 사용자가 휴대 및 사용하기 편리하도록 해 주는 몸체(150)를 더 포함할 수 있다. 각부에 대하여 보다 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0022] 상기 측정수단(110)은 카메라(111) 및 복수 개의 음압센서(112)를 포함한다. 이 때 상기 카메라(111)는 상기 카메라(111)가 향하는 방향의 영상을 취득하는 역할을 하며, 상기 음압센서(112)는 상기 카메라(111)가 향하는 위치에서 발생하는 소음의 음압을 측정하는 역할을 한다. 특히 본 발명에서 복수 개의 음압센서(112)는 도 1(B)에 도시된 바와 같이 상기 카메라(111)를 중심으로 원형을 이루며 배치되며, 이는 본 발명에서 매우 중요한 기술적 의미를 갖는데, 이러한 구성의 기술적 의미에 대해서는 본 발명의 초음파 카메라의 원리 설명에서 보다 상세히 설명한다.

[0023] 상기 표시수단(120)은 도 1(C)에 도시된 바와 같이 상기 카메라(111)에 의해 취득된 영상 및 상기 음압센서(112)에 의해 측정된 음압분포를 겹쳐 표시한다. 따라서 사용자는 상기 표시수단(120)에 표시되는 영상 및 음압분포 겹침 화면을 통하여 직관적으로 매우 용이하게 소음 발생 위치를 인식할 수 있게 된다.

[0024] 상기 몸체(150)는 상술한 바와 같이 상기 측정수단(110) 및 상기 표시수단(120)을 일체화하여 사용자 편의성을 증대시키기 위한 구성이다. 상기 몸체(150)는 일방향으로 연장되는 형태로 형성되는 본체부(151) 및 상기 본체부(151) 하방으로 연장되는 파지부(152)를 포함할 수 있다. 상기 본체부(151)의 일측 끝단에는 상기 측정수단(110)이 형성되고, 타측 끝단에는 상기 표시수단(120)이 형성됨으로써, 상기 측정수단(110) 및 상기 표시수단(120)을 일체화할 수 있다. 앞서 상기 측정수단(110)이 영상 및 음압을 측정하고 상기 표시수단(120)이 이를 출력하여 표시한다고 설명하였는데, 실제로는 이러한 신호처리를 위한 연산회로나 배선, 전력을 공급하기 위한 전

원(배터리) 등이 더 필요함이 당연하다. 상기 본체부(151)는 그 내부에 이러한 연산회로, 배선, 전원 등의 부품들이 내장하도록 이루어질 수 있다. 한편 상기 파지부(152)는 사용자 파지가 가능하도록 형성되는 부분으로, 즉 사용자 편의성을 향상하기 위한 구성이다. 이 때 상기 파지부(152) 상에는, 상기 측정수단(110) 및 상기 표시수단(120)의 작동 ON/OFF 제어를 위한 사용자 입력을 받는 역할을 하는 입력부(153)가 더 형성됨으로써 사용자 편의성을 더욱 향상할 수 있다. 상기 입력부(153)는 도 1에 도시된 바와 같이 버튼 형태로 이루어질 수 있으며, 물론 사용자 입력을 받을 수 있는 형태라면 어떤 다른 형태로 이루어져도 무방하다. 상기 입력부(153)를 이용하여 사용자가 원하는 때에만 상기 측정수단(110) 및 상기 표시수단(120)을 ON시켜 측정 및 표시를 수행하고, 원하지 않는 때에는 OFF시킴으로써, 상기 초음파 카메라(100)에서 소비되는 전력을 보다 절약할 수 있다.

[0025] 본 발명의 초음파 카메라의 측정 원리

[0026] 이하에서는 본 발명의 초음파 카메라의 측정 원리와, 이에 따른 본 발명의 음압 센서(112)의 배치 구성의 기술적 의미에 대하여 보다 상세히 설명한다.

[0027] 먼저, 본 발명의 초음파 카메라(100)에서는 빔-형성 기법을 사용한다. 앞서도 설명한 바와 같이, 빔-형성 기법이란 소음원과 측정 센서의 거리 차에 따른 측정신호의 위상 차이를 이용한 신호처리를 통하여 공간상의 소음원 강도 분포를 계산하고, 이의 강/약에 따라 소음원의 위치를 추정하는 기법을 말한다. 도 2는 빔-형성 기법 원리를 설명하기 위한 도면이다. 도 2에 도시된 바와 같이, λ 의 파장을 가지는 음향신호가 y축에 대하여 θ_s 만큼의 경사각을 가지는 방향으로 진행하고 있는 상황에서, x축 상에 M개의 음압센서가 배치되어 있다고 가정한다. 이 때 각각의 음압센서에서는 음압파워($P_1, P_2, \dots, P_M$)가 측정되며, 또한 각각의 음압센서의 위치가 서로 다른으로 인하여 시간지연($W_1, W_2, \dots, W_M$)이 발생하게 된다. 이 값들을 더하여 평균하면, 도 2의 하단에 도시된 그래프에서와 같이 θ 가 θ_s 일 때 메인 로브(main lobe)가 형성되며, 그 주변으로 상대적으로 훨씬 작은 값을 가지는 사이드 로브(side lobe)들이 형성된다. 즉 복수 개의 음압센서들을 사용하여 측정된 음압파워(P) 및 시간지연(보다 엄밀히는 시간지연 스캔벡터, W) 값들을 사용하여 다음과 같은 식 1을 통해 빔 파워(BP)를 계산해 낼 수 있으며, θ 에 따라 빔 파워(BP)가 최대가 되는 지점이 바로 음향이 진행해 오는 방향, 즉 θ_s 가 됨으로써 음원의 위치를 찾아낼 수 있게 된다.

$$BP(\theta) = |P^H W|^2 = \overline{W}(P P^H) W = \overline{W} C W \quad (\text{식 1})$$

[0029] 이러한 빔-형성 기법에서 측정 정밀도는 사용 센서의 개수에 따라 결정되는데, 일반적으로 많은 개수의 센서를 사용할수록 그 성능이 향상되는 것으로 알려져 있다. 상술한 바와 같이 고전적인 빔-형성 기법을 사용하는 경우 측정 정밀도는 센서의 개수가 많을수록 정밀도가 향상된다. 더불어, 이상적으로는 각 센서 간의 간격이 측정하고자 하는 대상신호 파장(λ)의 1/2 이내가 되도록 하여야 가장 정확한 측정이 이루어질 수 있다는 점이 잘 알려져 있다. 그러나 현실적으로 이러한 조건을 맞추어 센서를 배치하기에는 어려움이 있다. 초음파 카메라에서 대상으로 하고 있는 소음의 경우 20~60kHz 정도의 상당한 고주파 신호로서, 대상신호의 주파수를 대략 40kHz, 대기 중 음속을 대략 340m/s라 한다면, 대상신호 파장의 1/2은 대략 4mm 정도가 된다. 즉 40kHz 가량의 주파수를 갖는 소음원 위치를 정확하게 측정하기 위해서는 센서를 4mm 간격으로 빽빽하게 배치하여야 하는데, 이와 같이 할 경우 장치 가격이 지나치게 상승하여 현실적으로 이러한 사양으로 장치를 제작하기 어렵다. 이러한 문제를 해소하기 위하여, 센서들을 적당히 넓은 간격으로 배치시키되 무작위(random) 배치를 함으로써, 메인 로브는 강화하되 불필요하거나 잘못된 신호인 노이즈가 상쇄되도록 하는 효과를 얻을 수 있다.

[0030] 도 3은 바로 이러한 고전적인 빔-형성 기법을 사용하는 종래의 초음파 카메라의 센서 배치 예시를 도시하고 있다. 도 3에 도시된 바와 같이, 고전적인 빔-형성 기법을 사용하는 종래의 초음파 카메라에서는, 카메라 주변의 상당히 넓은 영역에 상당히 많은 개수의 음압센서들(일반적으로 20개 이상)을 무작위 배치하는 형태로 이루어졌다. 그런데 앞서도 설명한 바와 같이 종래의 초음파 카메라는, 센서 개수, 장치 부피 및 중량이 지나치게 많고 크기 때문에 장치 가격 상승, 사용자 휴대성 및 편의성 저하 등의 여러 문제점이 지적되어 오고 있는 실정이다.

[0031] 본 발명에서는, 고전적인 빔-형성 기법이 아닌, 일반화된 빔-형성 기법(functional beamforming method)을 사용한다. 고전적인 빔-형성 기법에서는 식 1을 통해 빔 파워(BP)를 산출하였으나, 일반화된 빔-형성 기법에서는 하기의 식 2를 통해 빔 파워(BP)를 산출한다.

$$BP_{\nu}(\theta) = \left[\overline{W} C^{\frac{1}{\nu}} W \right]^{\nu} \quad (\text{식 2})$$

[0033] 식 2에서 v 값이 1이라면 식 1과 동일해지는 바, 즉 고전적인 빔-형성 기법과 동일한 결과가 나오게 된다. 그러나 v 값이 1이 아닐 경우, 다음과 같은 차이가 생긴다. 음압파워 P 로 이루어지는 상호 스펙트럴 행렬 $C(=PP^H)$ 는 메인 로브의 크기에 직접적인 영향을 주고, 시간지연 스캔벡터 W 는 사이드 로브의 분포 및 크기에 직접적인 영향을 준다는 점이 잘 알려져 있다. 이 때 W 의 크기는 언제나 0에서 1 사이의 값(즉 $0 \leq W < 1$)을 갖는다. 식 2에서, v 가 어떤 값을 가지든지 C 는 v 자승 및 $1/v$ 자승이 서로 상쇄되어 결과적으로 다시 C 가 되는 반면, W 는 v 자승 계산이 이루어지므로 v 값이 커질수록 W 의 v 자승 값은 점점 작아지게 된다. 이를 물리적으로 설명하면, 식 2를 이용하여 빔 파워(BP)를 계산할 경우 v 값이 커질수록 메인 로브에는 영향이 없는 반면 사이드 로브가 작아지게 된다는 것이다.

[0034] 도 4는 바로 이러한, 고전적인 빔-형성 기법 및 일반화된 빔-형성 기법 각각으로 산출된 빔 파워 그래프를 비교하여 도시한 것이다. 도 4(A)에 도시된 바와 같이, $v=1$ 인 경우에는 고전적인 빔-형성 기법 그래프와 일반화된 빔-형성 기법 그래프가 완전히 동일하게 나오게 된다. 그러나 도 4(B)에 도시된 바와 같이 $v=10$ 으로 1보다 큰 값을 가지는 경우, 고전적인 빔-형성 기법 그래프가 도 4(A)에서와 동일하게 상당히 크고 많은 사이드 로브를 가지고 있는 것에 비해, 일반화된 빔-형성 기법 그래프는 사이드 로브가 모두 제거되고, 메인 로브도 보다 예리한 피크(peak)를 형성하고 있음을 알 수 있다. 도 4(C)에 도시된 바와 같이 $v=100$ 으로 더 크게 할 경우, 메인 로브는 도 4(B)의 그래프와 비교해서도 더욱더 예리해지며, 즉 v 값이 커질수록 피크 위치를 훨씬 정확하고도 명확하게 도출할 수 있음을 알 수 있다.

[0035] 본 발명의 측정수단(110)에서는, 복수 개의 상기 음압센서(112)에 의해 측정된 음압파워(P) 및 시간지연(W)값을 일반화된 빔-형성 기법(functional beamforming method)을 이용하여 신호 처리함으로써 음압분포를 산출하도록 이루어진다. 보다 구체적으로는, 상기 측정수단(110)은, 앞서의 식 2, 즉 하기의 식을 사용하여 빔 파워(BP)를 산출하도록 이루어진다.

$$BP_v(\theta) = \left[\overline{WC}^{\frac{1}{v}} W \right]^v$$

[0037] (여기에서, BP: 빔 파워, W : 시간지연 스캔벡터, $C: C=PP^H$ 로 계산되는 상호 스펙트럴 행렬, P : 음압파워 행렬, v : 1보다 큰 정수값)

[0038] 도 4만으로도 직관적으로 알 수 있는 바와 같이, 본 발명의 측정수단(110)은 고전적인 빔-형성 기법이 아닌 일반화된 빔-형성 기법을 사용함으로써, 사이드 로브 영향을 비약적으로 저감하고 메인 로브 위치를 훨씬 명확하게 찾아낼 수 있으며, 다시 말해 소음원 위치를 정확하게 검출해 낼 수 있게 된다.

[0039] 한편, 앞서 설명한 바와 같이 빔-형성 기법에서는 음압파워를 측정하는 센서의 개수가 많아질수록 성능이 향상되며, 이상적으로는 센서들이 측정하고자 하는 대상신호 파장의 1/2 이내로 배치되는 것이 바람직하다. 그러나 역시 앞서 설명한 바와 같이, 이처럼 센서를 조밀하게 배치하는 것은 성능을 향상할 수는 있겠으나 장치 가격, 부피, 중량 등을 상승시키는 요인이 되어 현실적으로 적용하기에는 어려움이 있다.

[0040] 일반화된 빔-형성 기법에서도 이러한 문제는 마찬가지이나, 본 발명에서는 (도 1 등에 도시된 바와 같이) 센서의 원형 배치를 통하여 이러한 문제를 해소한다. 도 5는 일반화된 빔-형성 기법을 사용하는 본 발명의 초음파 카메라의 센서 배치 예시를 도시하고 있는데, 도 5에 도시된 바와 같이 본 발명에서는, 복수 개의 상기 음압센서(112)들이 상기 카메라(111)를 중심으로 원형을 이루며 배치되도록 하고 있다.

[0041] 도 5에서, 상기 음압센서(112)의 측정가능범위는 상기 음압센서(112)를 둘러싸는 점선의 원으로 표시되어 있다. 이 때 본 발명에서는, 복수 개의 상기 음압센서(112)들이, 측정하고자 하는 대상신호 파장의 1/2보다 큰 간격으로 배열되는 저밀도(sparse) 배열을 이루며 배치되도록 한다. 이 때 상기 음압센서(112)의 측정가능범위가 상기 카메라(111)와 겹칠 경우 해당 부분은 데드존이 될 수 있으며, 상기 음압센서(112)가 상기 카메라(111)로부터 지나치게 멀어질 경우 상기 음압센서(112) 배치 면적이 불필요하게 넓어지게 된다. 이러한 사항들을 고려할 때, 도 5에 도시된 바와 같이 상기 측정수단(110)은, 복수 개의 상기 음압센서(112)들이, 상기 음압센서(112)의 측정가능범위가 형성하는 원의 외주면과 상기 카메라(111)의 외주면이 서로 접하는 위치에 배치되는 형태로 이루어지도록 하는 것이 바람직하다.

[0042] 종래에는 센서들이 저밀도 배열을 이룬다 하더라도 충분히 성능을 향상시키기 위해 많은 개수의 센서들이 넓은 면적 상에 무작위로 배치되도록 하여야 했으며, 이는 센서 개수 및 장치의 부피, 중량 증가의 요인이 되었다. 그러나 본 발명에서는, 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 카메라(111)를 둘러싸는 상기 음압센서(112)들의 배열이

단지 1열만 형성되면 된다. 따라서 본 발명에 의하면, 원하는 정도의 충분한 성능을 얻기 위해 필요한 센서의 개수를 종래에 비해 비약적으로 줄일 수 있다. 뿐만 아니라, 센서 배치를 위한 면적 자체도 훨씬 줄어들기 때문에, 결과적으로 장치의 부피 및 중량을 종래에 비해 비약적으로 저감할 수 있게 되는 것이다.

[0043] 본 발명을 위해 진행한 실험들로부터, 상기 음압센서(112)들이 원형을 이루며 배치되기만 하면 됨이 밝혀졌으며, 이 때 상기 음압센서(112)들이 "원형"을 형성한다는 조건이 만족되기 위해서는 상기 음압센서(112)의 개수가 4개보다는 많아야 함이 밝혀졌다. 따라서 본 발명에서, 상기 측정수단(110)에 포함되는 상기 음압센서(112)의 개수는 5개 이상인 것이 바람직하다.

[0044] 한편, 앞서 설명한 바와 같이 상기 음압센서(112)의 개수가 많아질수록 측정 성능이 향상되는 것은 물론이나, 지나치게 상기 음압센서(112)의 개수가 많아질 경우, 센서 개수 증가로 인한 장치 가격 상승의 문제 뿐만 아니라 계산 시간 및 부하의 증가 문제 또한 발생하게 된다. 계산 시간 및 부하가 지나치게 증가하게 되면 계산 성능이 좋은 고성능의 연산회로를 사용하여야 하며, 이는 또다시 장치 가격 상승의 요인이 된다. 이러한 점을 고려하여 본 발명에서는, 상기 음압센서(112)의 개수가 너무 많지 않은 것이 바람직하다. 종래의 초음파 카메라의 경우 센서를 20개 이상 사용하였던 것을 고려하여, 본 발명에서는 예시적으로 상기 측정수단(110)에 포함되는 상기 음압센서(112)의 개수가 10개 이하가 되게 할 수 있다.

[0045] 보다 구체적으로는, 본 발명을 위해 진행한 일련의 실험들로부터, 경험적으로 상기 음압센서(112)의 개수가 7개 일 경우 충분히 고해상도의 측정 결과를 얻을 수 있음과 동시에 계산 시간 및 부하도 적절한 수준이 됨이 확인되었다. 이러한 점을 고려하여, 본 발명에서는 최적 실시예로서, 상기 음압센서(112)의 개수를 7개로 도시키고 있으나, 물론 이로써 본 발명이 한정되는 것은 아니다. 즉 결론적으로, 본 발명에서 상기 측정수단(110)은, 상기 음압센서(112)가 5 내지 10개 범위 내로 이루어지게 하는 것이 바람직하다.

[0046] 도 6은 종래 및 본 발명의 초음파 카메라의 센서 배치를 비교한 도면이다. 도 6(A)는 도 3과 동일하게 종래의 초음파 카메라의 센서 배치를, 도 6(B)는 도 5와 동일하게 본 발명의 초음파 카메라의 센서 배치를 각각 도식화 되, 두 경우에 대하여 동일한 축척이 적용되었다. 도 6(A) 및 도 6(B)에서 카메라의 직경이 동일하게 나타난 것으로 동일한 축척이 적용되었음을 확인할 수 있다.

[0047] 도 6(A) 및 도 6(B)를 비교하여 볼 때 직관적으로도 알 수 있는 바와 같이, 본 발명에 의하면 종래에 비해 센서 개수를 비약적으로 줄일 수 있다. 뿐만 아니라, 앞서도 설명한 바와 같이 본 발명에 의하면 카메라를 둘러싸고 원형으로 배치되는 센서 어레이가 1열만 형성되면 되기 때문에, 종래에 비하여 측정수단의 크기 또한 비약적으로 줄일 수 있음이 확인된다.

[0048] 본 발명의 초음파 카메라의 측정 결과

[0049] 도 7 및 도 8은 종래 및 본 발명의 초음파 카메라를 이용한 측정 결과를 비교한 것이다.

[0050] 도 7은 구면좌표계에서 $\theta=0^\circ$, $\phi=0^\circ$ 인 위치에 소음원이 존재하는 경우의 측정 결과로서, 도 7(A)가 종래의 초음파 카메라, 즉 고전적인 빔-형성 기법을 이용한 음압분포 측정 결과를, 도 7(B)가 본 발명의 초음파 카메라, 즉 일반화된 빔-형성 기법을 이용한 음압분포 측정 결과를 각각 나타내고 있다. 도 7(A)에 도시된 바와 같이 종래의 경우 사이드 로브의 영향이 상당히 크게 나타나기 때문에, 사실상 음압의 크기만으로는 소음원의 위치를 정확히 특정하기가 어렵고, 분포된 형상을 더 고려해야만 소음원의 위치를 특정해 낼 수 있음을 알 수 있다. 반면 도 7(B)에 도시된 바와 같이, 본 발명의 경우에는 사이드 로브를 효과적으로 억제함으로써, 도 7(A)에 비해 비약적으로 정확하게 소음원 위치가 특정됨을 명확히 확인할 수 있다.

[0051] 도 8은 구면좌표계에서 $\theta=150^\circ$, $\phi=-40^\circ$ 인 위치에 소음원이 존재하는 경우의 측정 결과로서, 도 7과 마찬가지로, 도 8(A)가 종래의 초음파 카메라, 즉 고전적인 빔-형성 기법을 이용한 음압분포 측정 결과를, 도 8(B)가 본 발명의 초음파 카메라, 즉 일반화된 빔-형성 기법을 이용한 음압분포 측정 결과를 각각 나타내고 있다. 도 8(A)에 도시된 바와 같이 종래의 경우 사이드 로브의 영향이 너무나 강하게 나타나서, 이 경우에는 사실상 음압 분포 형상을 고려한다 할지라도 소음원 위치 특정이 상당히 난해하다. 반면 도 8(B)에 도시된 바와 같이, 본 발명의 경우에는 소음원 위치 특정을 난해하게 하는 사이드 로브가 완전히 억제되며, 이에 따라 예리한 피크를 이루며 나타나는 메인 로브만이 음압분포 결과에 나타남으로써, 종래와는 달리 매우 용이하게 소음원 위치를 특정할 수 있다.

[0052] 본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실

시가 가능한 것은 물론이다.

부호의 설명

[0053]

100: 초음파 카메라 110: 측정수단

111: 카메라 112: 음압센서

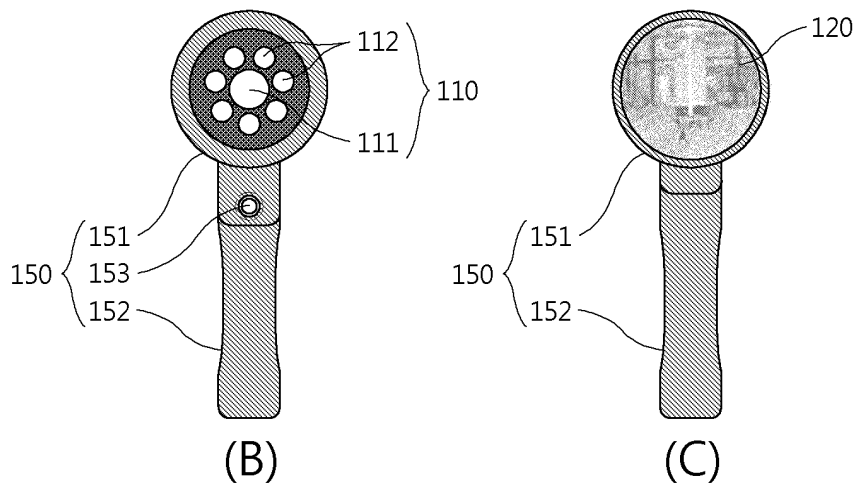
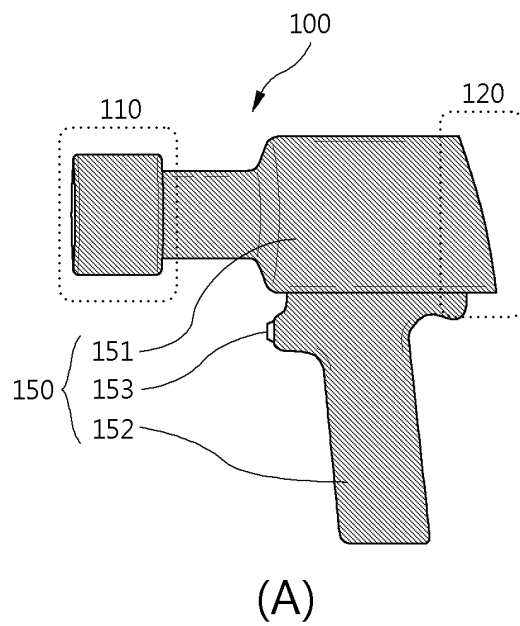
120: 표시수단

150: 몸체 151: 본체부

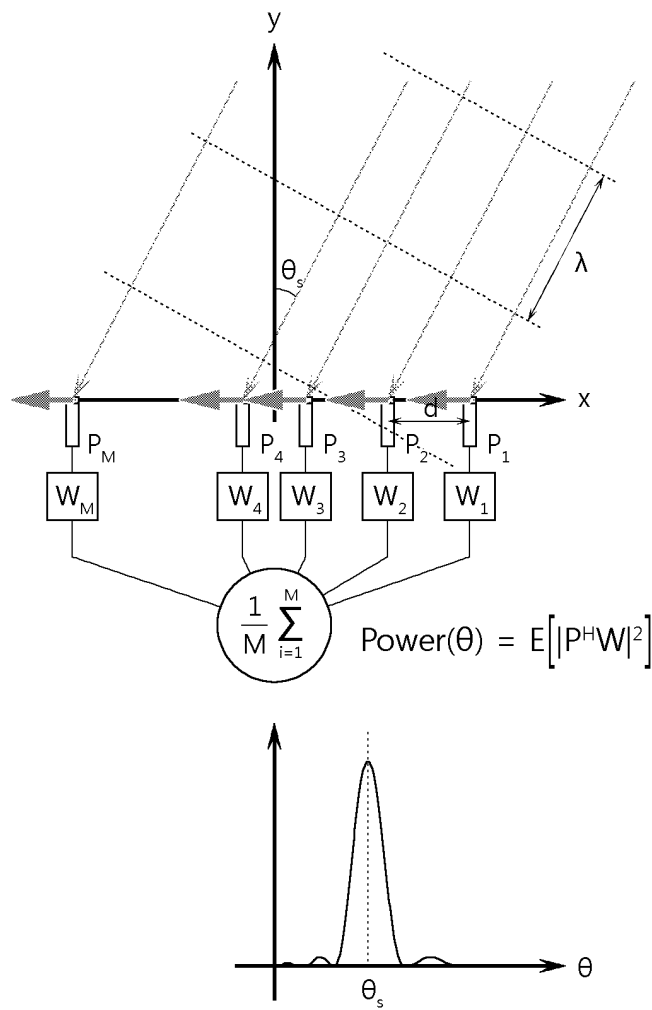
152: 파지부 153: 입력부

도면

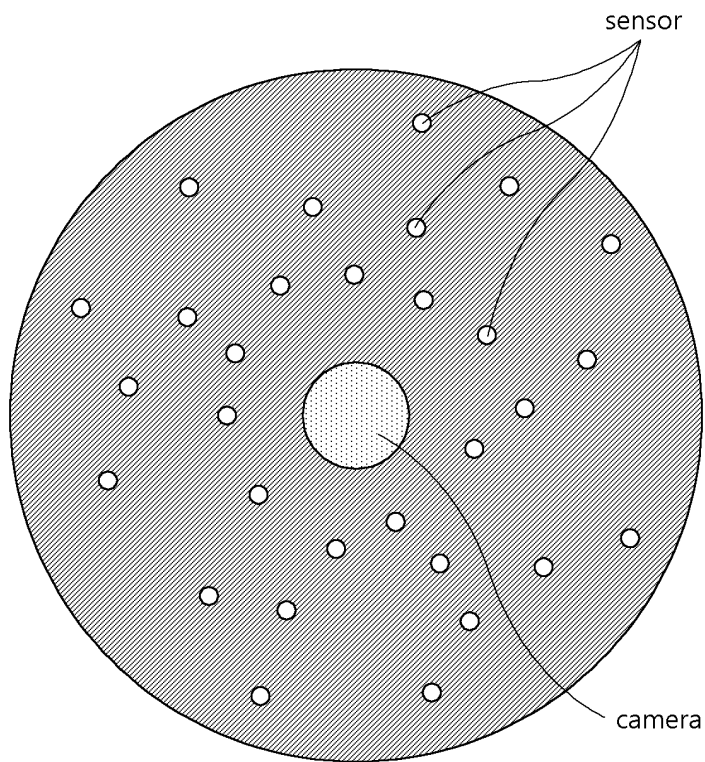
도면1



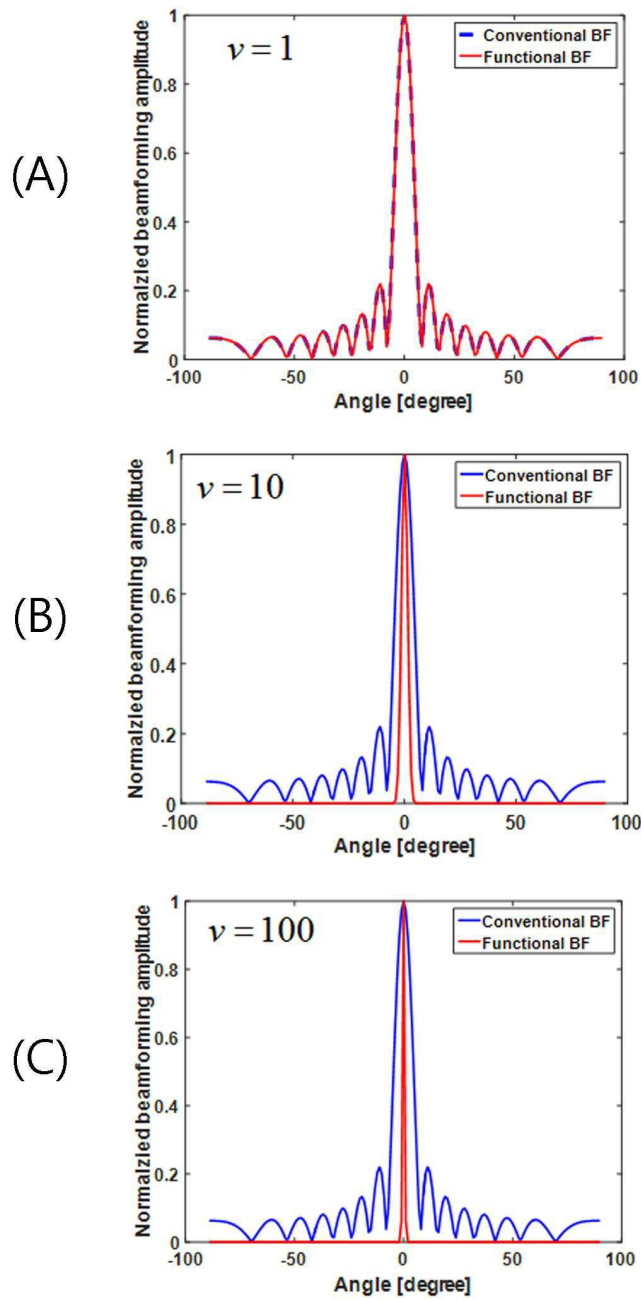
도면2



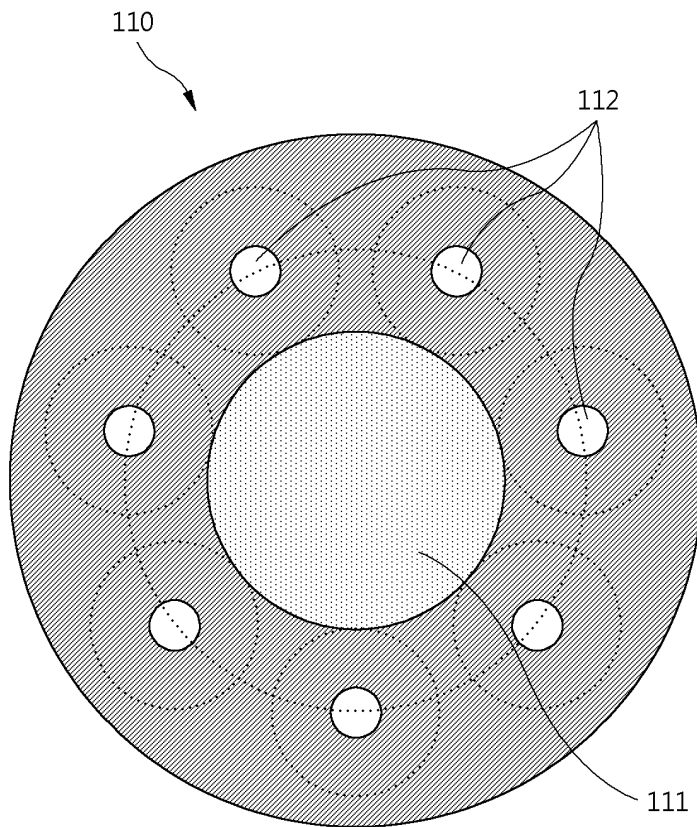
도면3



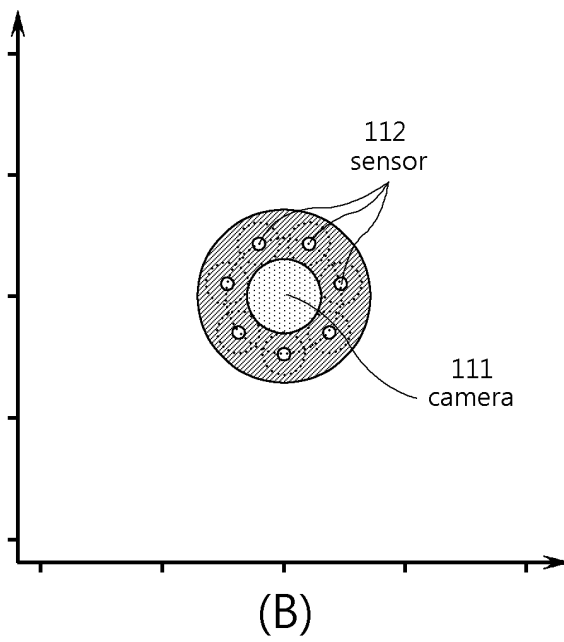
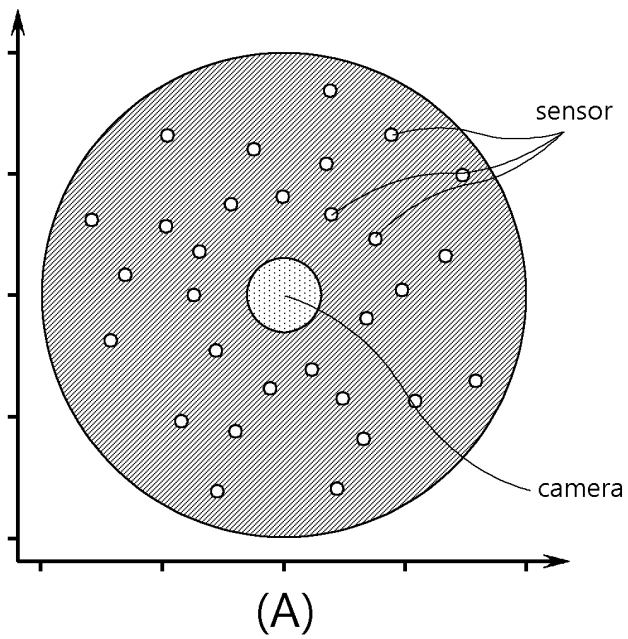
도면4



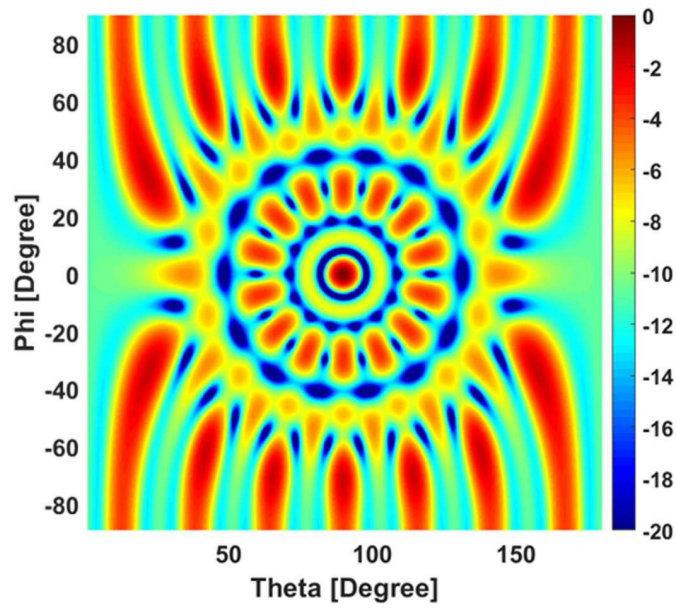
도면5



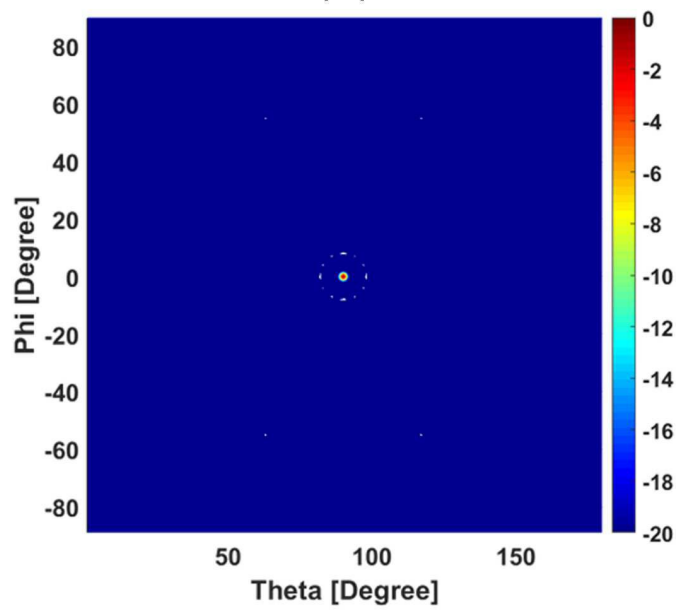
도면6



도면7

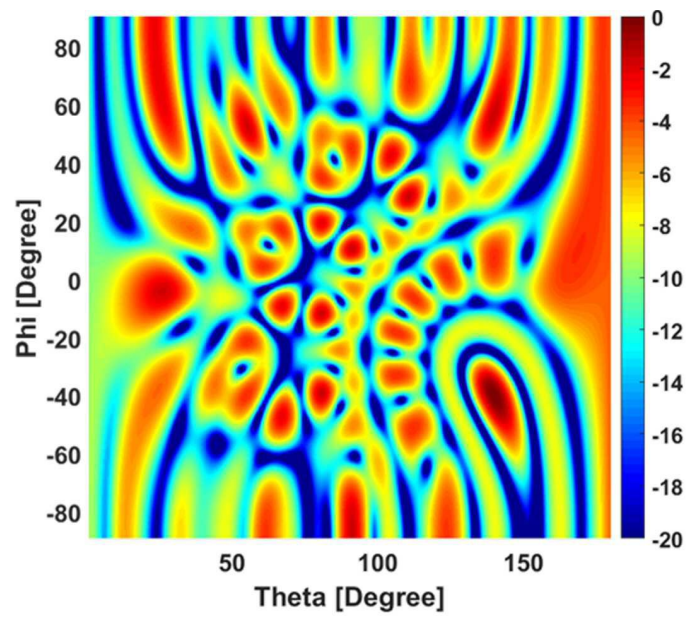


(A)

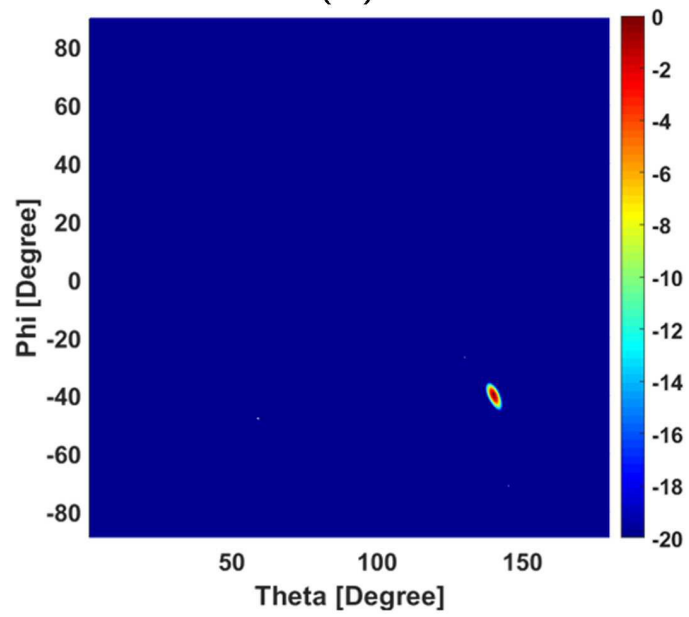


(B)

도면8



(A)



(B)