



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년07월25일
(11) 등록번호 10-1881835
(24) 등록일자 2018년07월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 15/89 (2006.01) A61B 8/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 15/8906 (2013.01)
A61B 8/4483 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0045749(분할)
(22) 출원일자 2016년04월14일
심사청구일자 2017년11월09일
(65) 공개번호 10-2016-0046777
(43) 공개일자 2016년04월29일
(62) 원출원 특허 10-2014-0142895
원출원일자 2014년10월21일
심사청구일자 2014년10월21일
(56) 선행기술조사문헌
JP2010266399 A*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
알피니언메디칼시스템 주식회사
경기도 화성시 만년로 905-17 (안녕동)
(72) 발명자
배무호
서울특별시 송파구 올림픽로35길 104, 19동 808호
(신천동, 장미아파트)
(74) 대리인
특허법인 신지

전체 청구항 수 : 총 18 항

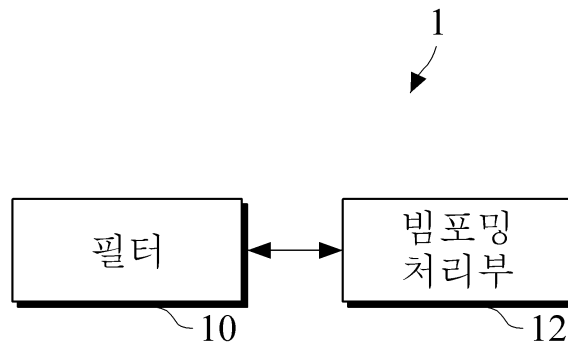
심사관 : 안문환

(54) 발명의 명칭 빔포밍 장치, 초음파 이미징 장치 및 빔포밍 방법

(57) 요약

빔포밍 장치, 초음파 이미징 장치 및 빔포밍 방법이 개시된다. 일 실시 예에 따른 빔포밍 방법은, 직교 다항식으로 구성된 변환함수를 사용하여 입력신호를 다른 공간으로 변환하는 단계와, 변환된 공간에서의 신호처리를 통해 빔 신호를 생성하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



(56) 선행기술조사문헌

KR1020140091803 A*

JP2010200926 A*

WO2016159395 A1*

JP2013106957 A*

KR101604570 B1*

JP2008507322 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

직교 다항식 기반 변환함수의 컬럼들을 대상으로 빔포밍 장치에 의해 형성되는 빔 패턴의 정면 부근의 사이드 로브 성분인 저주파수 성분에 해당하는 컬럼들은 남기고, 다른 사이드 로브 성분인 고주파 성분에 해당하는 컬럼들은 제거하는 필터; 및

저주파수에 해당하는 성분들로 차원 감소된 변환함수를 이용하여 입력신호를 다른 공간으로 변환하고 변환된 공간에서의 신호처리를 통해 빔 신호를 생성함에 따라 복수의 채널로 입력되는 각각의 입력신호에 대한 공간 공분산 행렬의 차원을 줄이는 빔포밍 처리부;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 빔포밍 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

변환함수의 컬럼들은 차례대로 저주파수 성분에서 고주파수 성분을 나타내며,

상기 빔포밍 처리부는 변환함수의 첫 소정의 컬럼들을 사용하여 공간 변환하는 것을 특징으로 하는 빔포밍 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 변환함수는 직교 다항식을 가지고 만든 직교 행렬로 표현되고,

상기 다른 공간은 직교 행렬로 변환된 공간인 것을 특징으로 하는 빔포밍 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 빔포밍 처리부는

직교 다항식 기반 변환함수를 사용하여 빔 패턴의 절대값이 0도에 대해 좌우 대칭인 빔 패턴을 획득하는 것을 특징으로 하는 빔포밍 장치.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 직교 다항식은 실수로만 구성되어 공간 변환 연산이 간단해지는 것을 특징으로 하는 빔포밍 장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 직교 다항식은 에르미트 다항식(Hermite polynomial), 라게르 다항식(Laguerre polynomial), 야코비 다항식(Jacobi polynomial), 구겐바우어 다항식(Gegenbauer polynomial), 체비쇼프 다항식(Chebyshev polynomial) 또는 르장드르 다항식(Legendre polynomial) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 빔포밍 장치.

청구항 7

대상체로 초음파를 조사하고 대상체로부터 반사되는 초음파 신호를 수신하며 수신된 초음파를 변환하여 복수의 초음파 신호를 출력하는 트랜스듀서;

직교 다항식 기반 변환함수의 컬럼들을 대상으로 빔포밍부에 의해 형성되는 빔 패턴의 정면 부근의 사이드 로브 성분인 저주파수 성분에 해당하는 컬럼들은 남기고, 다른 사이드 로브 성분인 고주파 성분에 해당하는 컬럼들

은 제거하며, 상기 트랜스듀서를 통해 입력된 초음파 신호를 대상으로 저주파수에 해당하는 성분들로 차원 감소된 변환함수를 이용하여 다른 공간으로 변환하고 변환된 공간에서의 신호처리를 통해 빔 신호를 생성함에 따라 복수의 채널로 입력되는 각각의 입력신호에 대한 공간 공분산 행렬의 차원을 줄이는 빔포밍부; 및
상기 빔포밍부에서 생성된 빔 신호를 이용하여 영상을 생성하는 영상 생성부;
를 포함하는 초음파 이미징 장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,
변환함수의 컬럼들은 차례대로 저주파수 성분에서 고주파수 성분을 나타내며,
상기 빔포밍부는 변환함수의 첫 소정의 컬럼들을 사용하여 공간 변환하는 것을 특징으로 하는 초음파 이미징 장치.

청구항 9

제 7 항에 있어서,
상기 변환함수는 직교 다항식을 가지고 만든 직교 행렬로 표현되고,
상기 다른 공간은 직교 행렬로 변환된 공간인 것을 특징으로 하는 초음파 이미징 장치.

청구항 10

제 7 항에 있어서, 상기 빔포밍부는
직교 다항식 기반 변환함수를 사용하여 빔 패턴의 절대값이 0도에 대해 좌우 대칭인 빔 패턴을 획득하는 것을 특징으로 하는 초음파 이미징 장치.

청구항 11

제 7 항에 있어서,
상기 직교 다항식은 실수로만 구성되어 공간 변환 연산이 간단해지는 것을 특징으로 하는 초음파 이미징 장치.

청구항 12

제 7 항에 있어서,
상기 직교 다항식은 에르미트 다항식(Hermite polynomial), 라게르 다항식(Laguerre polynomial), 야코비 다항식(Jacobi polynomial), 구겐바우어 다항식(Gegenbauer polynomial), 체비쇼프 다항식(Chebyshev polynomial) 또는 르장드르 다항식(Legendre polynomial) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 초음파 이미징 장치.

청구항 13

직교 다항식 기반 변환함수의 컬럼들을 대상으로 빔포밍 장치에 의해 형성되는 빔 패턴의 정면 부근의 사이드 로브 성분인 저주파수 성분에 해당하는 컬럼들은 남기고, 다른 사이드 로브 성분인 고주파 성분들에 해당하는 컬럼들은 제거하는 단계;
저주파수에 해당하는 성분들로 차원 감소된 변환함수를 이용하여 입력신호를 다른 공간으로 변환하는 단계; 및
변환된 공간에서의 신호처리를 통해 빔 신호를 생성하는 단계;
를 포함하는 것을 특징으로 하는 빔포밍 방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서,
변환함수의 컬럼들은 차례대로 저주파수 성분에서 고주파수 성분을 나타내며,
상기 다른 공간으로 변환하는 단계는 변환함수의 첫 소정의 컬럼들을 사용하여 공간 변환하는 것을 특징으로 하

는 빔포밍 방법.

청구항 15

제 13 항에 있어서,

상기 변환함수는 직교 다항식을 가지고 만든 직교 행렬로 표현되고,

상기 다른 공간은 직교 행렬로 변환된 공간인 것을 특징으로 하는 빔포밍 방법.

청구항 16

제 13 항에 있어서, 상기 빔 신호를 획득하는 단계는

직교 다항식 기반 변환함수를 사용하여 빔 패턴의 절대값이 0도에 대해 좌우 대칭인 빔 패턴을 획득하는 것을 특징으로 하는 빔포밍 방법.

청구항 17

제 13 항에 있어서,

상기 직교 다항식은 실수로만 구성되어 공간 변환 연산이 간단해지는 것을 특징으로 하는 빔포밍 방법.

청구항 18

제 13 항에 있어서,

상기 직교 다항식은 에르미트 다항식(Hermite polynomial), 라게르 다항식(Laguerre polynomial), 야코비 다항식(Jacobi polynomial), 구겐바우어 다항식(Gegenbauer polynomial), 체비쇼프 다항식(Chebyshev polynomial) 또는 르장드르 다항식(Legendre polynomial) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 빔포밍 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 빔포밍 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 초음파 이미징 장치(Ultrasonic imaging apparatus)는, 초음파를 이용하여 대상체, 예를 들어 인체 내부의 각종 조직이나 구조 등에 대한 단층 영상이나 혈류 등에 관한 영상을 획득하는 장치이다. 이와 같은 초음파 이미징 장치는, 상대적으로 소형이고 저렴하며, 실시간으로 영상을 표시할 수 있으며, 엑스선 등에 의한 피폭의 위험성이 없어 의료 분야, 예를 들어 심장, 복부, 비뇨기 및 산부인과 등에서 널리 이용되고 있다.

[0003] 초음파 이미징 장치는 대상체 내부의 목표 부위를 향하여 초음파를 조사하고, 목표 부위에서 반사된 에코 초음파를 수집한 후, 수집된 초음파의 정보를 기초로 초음파 영상을 생성한다. 이를 위해서, 초음파 이미징 장치는 초음파 프로브(ultrasonic probe)가 수집한 에코 신호에 기인한 복수의 채널 데이터에 대해서 특정 공간의 반사파 크기를 추정하기 위한 빔포밍(beamforming)을 수행한다. 빔포밍은 복수의 초음파 센서, 예를 들어 트랜스듀서(transducer)를 통해 입력된 초음파 신호의 시간차를 보정하고, 입력된 각 초음파 신호마다 소정의 가중치, 즉 빔포밍 계수를 부가하여 특정 위치의 신호를 강조하거나 다른 위치의 신호는 상대적으로 감쇠시켜 초음파 신호를 집속하도록 하는 것이다. 빔포밍에 의하여 초음파 이미징 장치는 대상체의 내부 구조 파악에 적절한 초음파 영상을 생성하여 사용자에게 표시할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 일 실시 예에 따라, 빔포밍에 필요한 연산량을 감소시켜 빔포밍에 필요한 빔포밍 장치의 리소스(resource) 사용량을 절감하고 아울러 연산 속도를 개선시킬 수 있도록 하는 빔포밍 장치, 초음파 이미징 장치 및 빔포밍 방법을 제안한다.

과제의 해결 수단

- [0005] 일 실시 예에 따른 빔포밍 장치는, 변환함수를 구성하는 컬럼들 중에서 저주파수 성분에 해당하는 첫 소정의 컬럼들을 선택하는 필터와, 선택된 첫 소정의 컬럼들로 구성된 변환함수를 이용하여 입력신호를 다른 공간으로 변환하고 변환된 공간에서의 신호처리를 통해 빔 신호를 생성하는 빔포밍 처리부를 포함한다.
- [0006] 이때, 변환함수는 직교 다항식(orthogonal polynomial)으로 구성될 수 있다. 직교 다항식은 에르미트 다항식(Hermite polynomial), 라게르 다항식(Laguerre polynomial), 야코비 다항식(Jacobi polynomial), 구겐바우어 다항식(Gegenbauer polynomial), 체비쇼프 다항식(Chebyshev polynomial) 또는 르장드르 다항식(Legendre polynomial) 중 어느 하나일 수 있다.
- [0007] 일 실시 예에 따른 변환함수 V 는 르장드르 다항식 P 이고, $P=[P_0, P_1, \dots, P_{L-1}]$ 이고, P_k 는 P 의 k 번째 컬럼으로서
- $$P_k=[P_{0k}, P_{1k}, \dots, P_{(L-1)k}]^T, \quad P_{mk}=\sum_{n=0}^k m^n c_{nk}$$
- 이며, c_{nk} 는 그람-슈미트 단위직교화 프로세스에 의해 결정될 수 있다. 빔포밍 처리부는 변환 공간에서 직교 다항식에 기반하여 최소 분산을 이용하여 빔포밍할 수 있다.
- [0008] 일 실시 예에 따른 빔포밍 처리부는 변환함수를 이용하여 입력신호에 대한 변환신호를 생성하는 변환부와, 변환신호에 대한 가중치인 변환신호 가중치를 연산하는 가중치 연산부와, 변환신호 및 변환신호 가중치를 이용하여 빔 신호를 생성하는 합성부를 포함한다. 가중치 연산부는 공간 스무딩을 통하여 가중치를 연산하며, 공간 스무딩에 따라 빔 패턴의 고주파수 성분이 제거될 수 있다.
- [0009] 다른 실시 예에 따른 초음파 이미징 장치는, 대상체로 초음파를 조사하고 대상체로부터 반사되는 초음파 신호를 수신하며 수신된 초음파를 변환하여 복수의 초음파 신호를 출력하는 트랜스듀서와, 트랜스듀서를 통해 입력된 초음파 신호를 변환함수를 이용하여 다른 공간으로 변환하고 변환된 공간에서의 신호처리를 통해 빔 신호를 생성하되, 변환함수를 구성하는 컬럼들 중에서 저주파수 성분에 해당하는 첫 소정의 컬럼들을 선택하여 처리하는 빔포밍부와, 빔포밍부에서 출력된 신호를 이용하여 영상을 생성하는 영상 생성부를 포함한다.
- [0010] 또 다른 실시 예에 따른 빔포밍 방법은, 변환함수를 구성하는 컬럼들 중에서 저주파수 성분에 해당하는 첫 소정의 컬럼들을 선택하는 단계와, 선택된 첫 소정의 컬럼들로 구성된 변환함수를 이용하여 입력신호를 다른 공간으로 변환하고 변환된 공간에서의 신호처리를 통해 빔 신호를 생성하는 단계를 포함한다.
- [0011] 다른 실시 예에 따른 빔포밍 방법은, 직교 다항식으로 구성된 변환함수를 사용하여 입력신호를 다른 공간으로 변환하는 단계와, 변환된 공간에서의 신호처리를 통해 빔 신호를 생성하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

- [0012] 일 실시 예에 따르면, 빔포밍 장치, 초음파 이미징 장치 및 빔포밍 방법을 통하여 입력신호를 빔포밍하여 결과신호를 획득하는 과정에 있어서 필요한 연산량을 감소시킬 수 있게 된다. 이에 따라 빔포밍을 수행하는 각종 장치, 예를 들어 초음파 이미징 장치가 빔포밍을 위해 요구하는 리소스를 절감할 수 있다. 특히, 직교 다항식(orthogonal polynomial)으로 만들어진 변환함수를 사용하여 입력신호를 새로운 공간으로 변환함으로써 최소분산 빔포밍 방법에서 공분산 행렬의 역행렬 계산의 복잡도를 대폭 감소시킬 수 있다.
- [0013] 또한, 입력신호에 대한 빔포밍 속도를 신속하게 할 수 있게 되어 빔포밍 과정의 시간을 단축할 수 있다. 나아가, 빔포밍 장치의 경우, 시간 지연된 초음파 영상의 출력, 장치의 과부하나 과열과 같은 각종 문제점을 해결하는 효과도 얻을 수 있다. 또한, 빔포밍 장치의 리소스 사용량의 감소에 기인하여 빔포밍 장치에서 소비하는 소비 전력의 감소, 저 사양의 연산 장치의 이용 등에 기인한 비용 절감의 효과도 얻을 수 있다.
- [0014] 한편, 초음파 진단기를 포함하여, 레이더, 소나, 비파괴검사 등 다양한 어레이 신호 처리 분야에 모두 적용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0015] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 빔포밍 장치의 구성도,
 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 빔포밍 처리부의 세부 구성도,
 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 초음파 이미징 장치의 구성도,

도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따라 공간 스무딩만을 통해 고주파 성분이 제거됨을 보여주는 그래프,

도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 르장드르 다항식 기반 변환함수 P의 연속파(CW) 빔 패턴을, 푸리에 변환함수 B 및 PCA MV BF의 변환함수의 연속파(CW) 빔 패턴들과 비교한 그래프,

도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 빔포밍 방법을 도시한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예들을 상세히 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 또한, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0017] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 빔포밍 장치의 구성도이다.
- [0018] 도 1을 참조하면, 빔포밍 장치(1)는 필터(10)와 빔포밍 처리부(12)를 포함한다.
- [0019] 도 1에 도시된 빔포밍 장치(1)에는 본 실시 예와 관련된 구성요소들만이 도시되어 있다. 따라서, 도 1에 도시된 구성요소들 외에 다른 범용적인 구성요소들이 더 포함될 수 있음을 본 실시 예와 관련된 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있다.
- [0020] 또한, 도 1에 도시된 빔포밍 장치(1)를 구성하는 적어도 일부 구성은 하나 또는 복수 개의 프로세서에 해당할 수 있다. 프로세서는 다수의 논리 게이트들의 어레이로 구현될 수도 있고, 범용적인 마이크로 프로세서와 이 마이크로 프로세서에서 실행될 수 있는 프로그램이 저장된 메모리의 조합으로 구현될 수도 있다. 또한, 다른 형태의 하드웨어로 구현될 수도 있음을 본 실시 예가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있다.
- [0021] 빔포밍 장치(1)는 피사체로부터 반사된 에코신호를 입력받아 이로부터 수신 빔을 형성하는 장치이다. 이때, 피사체는 예를 들어 인체의 복부, 심장 등이 될 수 있고, 에코신호는 피사체로부터 반사된 초음파 신호가 될 수 있으나, 이에 한정되지 않는다.
- [0022] 빔포밍 처리부(12)는 요소 공간(element space)의 입력신호를 변환함수(transform function)를 사용하여 다른 공간인 변환 공간(trasnformed space)으로 변환(transformation)하고, 변환 공간에서 신호처리를 통해 빔 신호를 생성하여 출력한다. 변환함수는 변환행렬(transform matrix)로 표현할 수 있다.
- [0023] 빔포밍 처리부(12)의 빔포밍 방법은 다양하다. 일 실시 예에 따른 빔포밍 처리부(12)는 빔 공간 적응형 빔포밍 (beam space adaptive beamforming: 이하 BA BF이라 칭함) 방법, PCA 기반 최소분산 빔포밍(MV BF method based on principal component analysis: 이하 PCA MV BF이라 칭함) 방법 등을 사용한다. 전술한 방법들의 공통점은 요소 공간의 입력신호를 정규직교 기저행렬(orthonormal basis matrix)인 변환함수를 사용하여 다른 공간으로 변환하고, 변환된 공간에서 중요한 성분만을 남기는 근사화(approximation) 등의 신호처리를 통해, 복수의 채널로 입력되는 각각의 입력신호에 대한 공간 공분산 행렬(spatial covariance matrix)의 차원(dimension)을 줄인다. 이에 따라, 공분산 행렬의 역행렬 계산을 매우 간단하게 할 수 있다.
- [0024] 일 실시 예에 따른 빔포밍 처리부(12)는 공간 변환 시에, 직교 다항식(orthogonal polynomial)으로 구성된 변환함수를 이용한다. 직교 다항식은 직교 관계를 만족시키는 일련의 다항식들이다. 직교 다항식은 예를 들어, 에르미트 다항식(Hermite polynomial), 라게르 다항식(Laguerre polynomial), 야코비 다항식(Jacobi polynomial), 구겐바우어 다항식(Gegenbauer polynomial), 체비쇼프 다항식(Chebyshev polynomial) 또는 르장드르 다항식(Legendre polynomial) 중 어느 하나일 수 있다. 이하, 직교 다항식 중 르장드르 다항식을 중심으로 후술하고자 하나, 직교 다항식이 르장드르 다항식에 한정되지 않음을 명시한다.
- [0025] 일 실시 예에 따른 빔포밍 처리부(12)는 르장드르 다항식(Legendre polynomial)으로 구성된 정규직교 행렬(orthonormal matrix)을 변환함수로 사용한다. 특히, 빔포밍 처리부(12)는 최소분산 빔포밍(MV BF) 방법에서 르장드르 다항식을 변환함수로 사용할 수 있다. 이 경우, MV BF의 계산량을 대폭 줄이면서도 성능을 유지할 수 있다. 이하, 요소 공간의 입력신호를 변환 공간으로 변환하기 위한 변환함수로서 르장드르 다항식으로 만들어진 행렬을 사용하는 방법을 르장드르 다항식 기반 최소분산 빔포밍(LP MV BF) 방법이라 명한다.

- [0026] 르장드르 다항식 기반 최소분산 빔포밍(LP MV BF) 방법을 통해 MV BF를 BA BF보다는 더욱 정밀하게 근사화(approximation)하고, PCA MV BF와 비슷한 성능을 얻을 수 있다. 나아가, BA BF에서의 푸리에 변환(Fourier transform) 기저 함수와 르장드르 다항식의 성질을 잘 이용하여 공간 공분산 행렬을 잘 추정하면서 각 채널 신호들의 간섭(coherence)에 의한 신호 제거(signal cancelling)를 방지하기 위한 공간 스무딩(spatial smoothing) 계산을 매우 간단하게 효율적으로 할 수 있다.
- [0027] 필터(10)는 저대역 통과 필터(low pass filter)로서, 빔 패턴의 정면에 가까운 사이드 로브에 해당하는 요소 공간에서의 저주파수 성분(low frequency component)을 필터링하여 획득한다. 이때, 필터(10)는 변환함수를 구성하는 컬럼들 중에서 저주파수 성분을 나타내는 첫 소정의 컬럼들을 선택한다. 저대역 통과 필터링이 가능한 이유는, 공간 스무딩을 수행하면 정면 멀리에서 빔 패턴이 형성되는 고주파 성분이 대부분 제거되기 때문이다.
- [0028] 빔포밍 처리부(12)가 변환 공간에서 MV BF 방법을 통해 빔포밍하는 경우, 일 실시 예에 따른 필터(10)는 변환 공간에서 중요한 몇몇 성분들만을 이용함으로써 공간 공분산 행렬의 역행렬 연산에 필요한 계산량을 대폭 줄일 수 있다. 예를 들어, 변환행렬 중에 몇 개의 첫 컬럼들만을 취해서 입력신호를 변환함으로써 공간 공분산 행렬의 차원을 줄인다. 변환행렬 중 몇 개의 첫 컬럼들은 MV BF 연산함에 있어서 중요한 성분들을 나타낸다.
- [0029] 빔포밍 처리부(12)가 변환 공간에서 BA BF를 위한 푸리에 변환행렬(Fourier transform matrix)(버틀러 행렬: Butler matrix이라고도 함)을 이용하여 빔포밍하는 경우, 일 실시 예에 따른 필터(10)는 푸리에 변환행렬 중에 첫 번째 몇 개의 컬럼만을 사용한다. 첫 번째 몇 컬럼은 저주파수 성분을 나타내고, 이는 집속점(focal point) 방향 및 집속점에 가까운 빔 성분에 해당한다. 간섭(Interference)이 주로 정면 방향 부근에서 발생한다고 가정하면, 이 컬럼들만을 이용함으로써 효율적으로 공간 공분산 행렬의 차원을 감소시킬 수 있다.
- [0030] 빔포밍 처리부(12)가 MV BF를 사용하여 계산된 수많은 최소분산 가중치들의 집합에 PCA를 적용하는 PCA MV BF 방법을 통해 빔포밍하는 경우, 필터(10)는 첫 번째 몇 개의 컬럼만을 이용함으로써 공간 공분산 행렬의 차원을 감소시킬 수 있다. 이 컬럼들 역시 정면 방향 및 그 부근의 빔 성분을 나타낸다.
- [0031] 빔포밍 처리부(12)가 직교 다항식 기반 최소분산 빔포밍 방식을 수행하는 경우, 일 실시 예에 따른 필터(10)는 직교 다항식으로 만들어진 변환함수의 첫 몇 개의 컬럼만을 사용한다. 이 변환함수의 컬럼들은 차례로 저주파수 성분(low frequency component)으로부터 고주파수 성분(high frequency component)들을 나타내므로, 첫 몇 개의 컬럼은 푸리에 변환함수와 마찬가지로 저주파수 성분에 해당한다.
- [0032] MV BF의 공간 스무딩을 통해 시간 지연 빔포밍(delay-and-sum beamforming: 이하 DAS BF라 칭함) 방법에서 관찰되는 X 형태의 긴 사이드 로브(side lobe)가 제거될 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 르장드르 다항식 기반 변환함수를 사용하는 MV BF에서 정면에 가까운 사이드 로브(side lobe) 성분만을 다루고 다른 고주파 성분들은 제거하는 차원 감소(dimensionality reduction)를 하여도 MV BF의 특성을 매우 잘 유지할 수 있다. 공간 스무딩만을 통해 고주파 성분들이 제거됨을 후술되는 도 4를 참조로 하여 확인할 수 있다.
- [0033] 이하, 빔포밍 장치(1)의 성능, 특히 측 방향 해상도 및 대조도를 개선하기 위한 방법으로, 최소분산 빔포밍(MV BF) 시에 르장드르 다항식과 같은 직교 다항식 기반 변환함수를 사용하게 된 배경과 그 기능에 대해 상세히 후술한다.
- [0034] 초음파 진단기에서 원하는 방향으로 초음파 빔(beam)을 포커싱(focusing)하기 위해 DAS BF 방법이 사용될 수 있다. DAS BF에서, 원치 않는 방향으로부터의 에코 신호에 의해 발생하는 클러터(clutter)의 레벨(level)을 낮추려면 어레이 성분(array element)들로부터의 수신 신호에 적절한 형태의 가중치(weights)를 가해야 하는데, 이때는 메인 로브(main lobe)의 폭(width)이 넓어지는 회생을 치러야 하는 제약이 있다.
- [0035] 이러한 제약을 해결하여 초음파 진단기의 성능을 개선하기 위한 방법으로, MV BF(발명자의 이름을 따서 Capon beamforming이라고도 함)를 초음파의 빔포밍에 응용하는 방법이 있다. MV BF는 입력 데이터를 기반으로 각 수신 집속점(receive focal point)마다 최적의 가중치, 즉, 아포다이제이션 함수(apodization function)를 계산하여 적용함으로써 원하는 방향으로부터의 신호를 이득 1(unity gain)으로 통과시키고 다른 방향으로부터의 신호는 최적으로 저감시킬 수 있다. 따라서, DAS BF와는 달리, 클러터 레벨을 낮추는 동시에 메인 로브의 폭을 줄일 수 있어 공간 해상도(spatial resolution)와 대조도(contrast resolution)를 동시에 개선할 수 있다.
- [0036] MV BF의 가장 큰 단점 중 하나는 DAS BF에 비해 필요한 계산량이 지나치게 많아 실시간성이 중요한 초음파 진단기에 적용하기 어렵다는 점이다. 즉, MV BF 방법은 공간 공분산 행렬의 역행렬을 구해야 하기 때문에 계산량이 많을 수 있다. 따라서, 가능하면 MV BF의 성능을 저하시키지 않으면서도 계산량을 줄이는 것이 요구된다.

- [0037] MV BF에서 가장 계산량이 많이 필요한 단계는 공간 공분산 행렬의 역행렬을 구하는 과정이다. 공간 공분산 행렬의 차원이 $L \times L$ 일 때, 이것의 역행렬을 구하기 위해 $O(L^3)$ 의 연산이 요구된다. 이에 대한 해결 방법으로, 입력 데이터를 요소 공간으로부터 다른 공간으로 변환한 다음, MV BF의 성능에 영향을 적게 주는 성분들을 그 다른 공간에서 제거함으로써, 공간 공분산 행렬의 차원을 대폭 줄여 결과적으로 간단하게 공분산 행렬의 역행렬을 계산할 수 있다. 이 방법들 중에는 푸리에 변환 기반의 BA BF와, 주성분 분석 기반의 PCA MV BF 등이 있다.
- [0038] 일 실시 예에 따른 빔포밍 처리부(12)는 공간 변환을 위한 기저 행렬(basis matrix)로서 직교 다항식을 사용한다. 직교 다항식을 사용하면 공간 공분산 행렬의 차원을 동일하게 줄였을 때 차원 감소에 의한 근사화(approximation) 오류가 BA BF 및 PCA MV BF 방법 등에 비해 더 적거나 비슷하다.
- [0039] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 빔포밍 처리부의 세부 구성도이다.
- [0040] 도 2를 참조하면, 빔포밍 처리부(12)는 변환부(120), 가중치 연산부(122) 및 합성부(124)를 포함한다.
- [0041] 변환부(120)는 외부로부터 입력신호(x)를 전달받고, 전달받은 입력신호(x)를 소정의 변환함수(V)를 이용하여 변환하여 입력신호가 변환된 변환신호(u)를 출력한다.
- [0042] 일 실시 예에 따른 변환부(120)는 사용자 또는 시스템 설계자 등에 의해 미리 설정된 변환함수(V)에 따라서 입력신호(x)를 변환한다. 다른 실시 예에 따른 변환부(120)는 적어도 하나의 변환함수(V)로 구축된 변환함수 저장부(14)로부터 입력신호(x)의 변환을 위한 변환함수(V)를 전달받고, 전달받은 변환함수를 이용하여 입력신호(x)를 변환한다. 변환부(120)에 의해 생성된 변환신호(u)는 합성부(124)로 전달된다.
- [0043] 입력신호 x는 다수의 채널을 통해 입력되는 다수의 입력신호로 이루어져 있을 수 있다. 즉, 다수의 채널의 입력신호들의 집합일 수도 있다. 아울러 변환신호 u 역시 마찬가지로 다수의 채널로 출력되는 다수의 채널의 변환신호들의 집합일 수도 있다.
- [0044] 변환함수(V)가 주어지는 경우 변환신호 u의 차원은 입력신호 x의 차원보다 작다. 구체적으로 만약 변환함수가 $(M \times N)$ 의 행렬로 주어지고, $M > N$ 의 수식이 성립되며 입력신호가 $(M \times 1)$ 로 주어진다면, 즉 입력신호 x의 차원이 M차원인 경우 그 연산 결과인 변환신호 u는 $(N \times 1)$ 으로 주어져 변환신호 u의 차원이 입력신호 x보다 작아진다. 이와 같이 차원이 작아지면 상대적으로 연산량이 감소하여 연산의 편의 및 속도가 개선될 수 있다.
- [0045] 변환함수(V)는 미리 정의될 수 있다. 이 경우, 경험적으로 또는 이론적으로 얻을 수 있는 다양한 입력신호(x)를 기초로 적어도 하나의 변환함수(V)를 별도로 미리 계산하여, 다양한 입력신호(x)에 대입되거나 또는 적용될 수 있는 적어도 하나의 변환함수(V)들을 정의해놓는 것도 가능하다. 이와 같이 미리 정의된 적어도 하나의 변환함수(V)들을 기초로 변환함수 저장부(14)가 구축될 수 있다.
- [0046] 변환부(120)는 변환함수 저장부(14)로부터 이와 같은 과정을 통해 획득된 소정의 변환함수(V)를 수신하고, 수신된 소정의 변환함수(V)를 이용하여 변환신호(u)를 생성한다. 이 경우, 변환함수(V)는 변환함수 저장부(14)에 저장된 복수의 기저 벡터(bv) 중 사용자의 선택에 따라서 선택된 복수의 기저 벡터(bv)의 조합일 수 있다. 즉, 변환부(120)는 변환함수(V)를 수신하는 과정에 있어서 복수의 기저 벡터(bv)를 수신하고 수신된 기저 벡터(bv)의 조합으로 생성된 변환함수(V)를 입력신호(x)의 변환에 이용할 수 있다.
- [0047] 생성된 변환신호(u)는 합성부(124)로 전달되고, 후술하는 가중치 연산부(122)에 의해 연산된 변환신호 가중치(β)와 조합된다. 변환부(120)는 실시 예에 따라 상술한 바와 같이 전달받은 입력신호(x) 및 변환함수(V) 중 적어도 하나를 후술하는 가중치 연산부(122)로 전달할 수도 있다. 도 2에서는 도시되지 않았으나, 변환부(120)는 변환신호(u)를 가중치 연산부(122)에 전송할 수도 있다.
- [0048] 가중치 연산부(122)는 변환부(120)에서 출력되는 변환신호(u)에 부가되는 가중치인 변환신호 가중치(β)를 연산한다. 가중치 연산부(122)는 입력신호(x)나 변환함수(V) 중 어느 하나 또는 양자를 모두 이용하여 변환신호(u)에 대한 변환신호 가중치(β)를 연산할 수 있다. 이 경우 가중치 연산부(122)는 일례로 트랜스듀서와 같이 신호를 생성하는 신호 생성부나 변환함수 저장부(14)로부터 직접 입력신호(x)나 변환함수(V)를 전달받을 수도 있다. 뿐만 아니라 변환부(120)로부터 상술한 입력신호(x)나 변환함수(V)를 전달받는 것도 가능하다.
- [0049] 일 실시 예에 따른 가중치 연산부(122)는 입력신호(x)와, 사용자 등에 의해 미리 정해지거나 또는 별도의 변환함수 저장부(14)에서 전달되는 변환함수(V)를 기초로 변환신호 가중치(β)를 연산한 후 생성된 변환신호 가중치(β)를 합성부(124)로 전달한다.
- [0050] 변환신호 가중치(β)는 입력되는 입력신호(x)에 따라 달라질 수 있고, 또한 이용하는 변환함수(V)에 따라서도

달라질 수 있다. 변환함수(V)는 사전에 미리 연산되어 정의되어 있고 입력신호(x)에 따라서 선택되어 사용될 수 있으므로 변환신호 가중치(β)는 입력신호(x)에 따라 주로 달라질 수 있다.

- [0051] 변환신호 가중치(β)는 소정의 열 벡터(column vector)로 주어질 수 있으며, 만약 변환함수(V)가 ($M \times N$)의 행렬로 표현되는 경우 변환신호 가중치(β)는 ($N \times 1$)행렬, 즉 ($N \times 1$) 열 벡터로 주어진다.
- [0052] 합성부(124)는 변환부(120)에서 생성되어 출력되는 변환신호(u) 및 가중치 연산부(122)에서 연산한 변환신호 가중치(β)를 기초로 결과 신호(x')를 생성한다. 이 경우 합성부(124)는 변환신호(u)와 변환신호 가중치(β)를 조합하여 결과 신호(x')를 생성할 수 있는데, 예를 들어 변환신호(u)와 변환신호 가중치(β)를 가중합하여 결과 신호(x')를 생성할 수 있다. 결과적으로 빔포밍 장치는 소정의 입력신호(x)에 대해 빔포밍이 수행된 결과 신호(x')를 생성하여 출력할 수 있게 된다.
- [0053] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 초음파 이미징 장치의 구성도이다.
- [0054] 도 3을 참조하면, 초음파 이미징 장치(3)는 트랜스듀서(300), 빔포밍부(310), 영상 생성부(320), 표시부(330), 저장부(340) 및 출력부(350)를 포함한다.
- [0055] 도 3에 도시된 빔포밍부(310)는 도 1 및 도 2에 도시된 빔포밍 장치(1)의 일 실시 예에 해당한다. 이에 따라, 도 1 및 도 2와 관련하여 기재된 내용은 도 3에 도시된 초음파 이미징 장치에도 적용 가능하기에 중복되는 설명은 생략한다.
- [0056] 일 실시 예에 따른 초음파 이미징 장치(3)는 피사체에 대한 영상을 제공한다. 예를 들어, 피사체를 나타내는 진단 영상을 표시하거나, 또는 피사체를 나타내는 진단 영상을 표시하는 외부장치로 피사체에 대한 진단 영상을 나타내는 신호를 출력한다. 이때, 진단 영상은 초음파 영상이 될 수 있으나, 이에 한정되지 않는다.
- [0057] 트랜스듀서(300)는 피사체와 신호를 송수신한다. 트랜스듀서(300)는 피사체에 송신신호를 송신하고, 피사체로부터 반사된 에코신호를 수신한다.
- [0058] 빔포밍부(310)는 기측정된 에코신호의 빔포밍 계수로부터 획득된 복수의 기저벡터들을 이용하여, 피사체로부터 반사된 에코신호에 적용될 가중치를 산출하고, 피사체로부터 반사된 에코신호에 산출된 가중치를 적용하고, 가중치가 적용된 신호들을 합성한다. 이때, 기측정된 에코신호의 빔포밍 계수로부터 획득된 복수의 기저벡터들은 빔포밍부(310)에 저장되거나, 또는 저장부(340)에 저장될 수 있다. 이에 따라, 빔포밍부(310)는 저장된 복수의 기저벡터들 중 적어도 일부를 이용하여 빔포밍할 수 있다. 이때, 적어도 일부의 기저벡터들의 개수는 사용자에게 의하여 결정가능하다. 이처럼, 빔포밍부(310)는 복수의 기저벡터들을 이용하여, 가중치를 산출하고, 산출된 가중치를 적용하기, 감소된 연산량으로 빔포밍을 수행할 수 있다.
- [0059] 영상 생성부(320)는 빔포밍부(310)에서 출력된 신호들을 이용하여 영상을 생성한다. 영상 생성부(320)는 DSP(Digital Signal Processor) 및 DSC(Digital Scan Converter)를 포함할 수 있다. 일 실시 예에 따른 DSP는 빔포밍부(310)에서 출력된 신호에 대하여 소정의 신호처리 작업을 수행하고, DSC는 소정의 신호처리 작업이 수행된 신호를 이용하여 형성된 영상 데이터를 스캔 변환하여 영상을 생성한다.
- [0060] 표시부(330)는 영상 생성부(320)에서 생성된 영상을 표시한다. 예를 들면, 표시부(330)는 초음파 이미징 장치에 마련된 디스플레이 패널, 마우스, LCD 화면, 모니터 등의 출력 장치를 모두 포함한다. 다만, 일 실시 예에 따른 초음파 이미징 장치(3)는 표시부(330)를 구비하지 않고, 영상 생성부(320)에서 생성된 영상을 외부의 표시장치로 출력하기 위한 출력부(350)를 구비할 수도 있음을 본 실시 예와 관련된 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 알 수 있다.
- [0061] 저장부(340)는 영상 생성부(320)에서 생성된 영상 및 초음파 이미징 장치(3)의 동작을 수행하는 중에 발생하는 데이터를 저장한다. 출력부(350)는 유, 무선 네트워크 또는 유선 직렬 통신 등을 통하여 외부장치와 데이터를 송수신할 수 있다. 외부장치는 원격지에 위치한 다른 의료영상시스템, 범용 컴퓨터 시스템, 팩시밀리 등이 될 수 있다. 또한, 일 실시 예에 따른 저장부(340) 및 출력부(350)는 영상 관독 및 검색 기능을 더 포함시켜 PACS(Picture Archiving Communication System)와 같은 형태로 일체화될 수도 있음을 본 실시 예와 관련된 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 알 수 있다.
- [0062] 본 실시 예에 따른 빔포밍부(310)에서 빔포밍을 수행하는데 처리되는 연산량이 크지 않기에, 초음파 이미징 장치(3)는 실시간 고해상도 영상을 생성할 수 있다.
- [0063] 이하, 수식들을 이용하여 다양한 빔포밍 방법들에 대해 상세히 후술한다.

[0064] 초음파 진단기의 빔포밍 프로세스는 수식 1과 같이 표현될 수 있다.

$$z[n] = \sum_{m=0}^{M-1} w_m[n] x_m[n] \quad (1)$$

[0065] 수식 1에 있어서, $x_m[n]$ 은 포커싱 지연(focusing delay)이 적용된 각 채널의 수신신호이고, m 은 채널 인덱스(channel index), n 은 시간 인덱스(time index), $w_m[n]$ 은 아포다이제이션(apodization)이라고도 불리는 각 채널의 신호에 가해질 가중치들, $z[n]$ 은 빔포밍 장치의 출력이다.

[0066] MV BF는 원하는 방향, 예를 들어 포커싱 지연이 적용된 신호에서는 정면의 신호의 게인(gain)은 1로 유지하면서 $z[n]$ 의 분산(variance), 즉 파워(power)를 최소화하는 w 를 구한다. 이때, $w[n] = [w_0[n], w_1[n], \dots, w_{m-1}[n]]^H$ 이다. 이에 따라, 원하는 방향의 신호에는 왜곡을 주지 않으면서 원치 않는 방향으로부터의 신호가 출력에 기여함을 최소화할 수 있다. 이러한 문제는 아래 수식으로 표현된다.

$$\min_{\mathbf{w}[n]} E[|z[n]|^2] = \min_{\mathbf{w}[n]} \mathbf{w}[n]^H \mathbf{R}[n] \mathbf{w}[n], \quad \mathbf{w}^H[n] \mathbf{a} = 1 \quad (2)$$

[0067] 이때, $E[\cdot]$ 는 기대값 연산자(expectation operator), $\mathbf{w}[n]^H$ 는 $\mathbf{w}[n]$ 의 에르미트 전치(Hermitian transpose), $\mathbf{a}$ 는 조정 벡터(steering vector)이고, $x_m[n]$ 이 포커싱 지연이 적용된 신호이므로 원소들이 모두 1로 구성된다. $\mathbf{R}[n]$ 은 수식 3과 같은 공간 공분산 행렬(spatial covariance matrix)이다.

$$\mathbf{R}[n] = E[\mathbf{x}[n] \mathbf{x}^H[n]] \quad (3)$$

[0070] 수식 3에서, $\mathbf{x}[n] = [x_0[n], x_1[n], \dots, x_{m-1}[n]]^T$ 이다.

[0071] 이 문제의 해는 수식 4와 같이 표현된다.

$$\mathbf{w}[n] = \frac{\mathbf{R}[n]^{-1} \mathbf{a}}{\mathbf{a}^H \mathbf{R}[n]^{-1} \mathbf{a}} \quad (4)$$

[0072] 실제 상황에서는 $\mathbf{R}[n]$ 을 추정해야 하고, 추정하면서 각 채널 신호들의 간섭(coherence)에 의한 신호 제거(signal cancelling)를 방지하기 위해서, 공간 스무딩 또는 부구경 평균화(sub-aperture averaging)를 수행한다. 그리고, 결과 영상의 스펙클 패턴(speckle pattern)의 통계적 특성 개선을 위해 시간 평균화(temporal averaging)를 수행한다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\tilde{\mathbf{R}}[n] = \frac{1}{2K+1} \frac{1}{M-L+1} \sum_{k=-K}^K \sum_{l=0}^{M-L} \mathbf{x}_l[n-k] \mathbf{x}_l^H[n-k] \quad (5)$$

[0073] 이때,

$$\mathbf{x}_l[n] = \begin{bmatrix} x_l[n] \\ x_{l+1}[n] \\ \vdots \\ x_{l+L-1}[n] \end{bmatrix}$$

[0077] (6)

[0078] 수식 5에서, $\frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L}$ 이 공간 스무딩에 해당하고, $\frac{1}{2K+1} \sum_{k=-K}^K$ 이 시간 평균화에 해당한다. 수식 6에서 $x[n]$ 은 수신신호이고, $x_l[n]$ 에서 l 은 x 의 시작 인덱스(index)를 의미한다.

[0079] 한편, MV BF 연산의 견고성(robustness)을 향상시키기 위해 다이아고날 로딩(diagonal loading)이라는 방법도 주로 사용되는데, 이 방법은 $\tilde{\mathbf{R}}[n]$ 을 $\tilde{\mathbf{R}}[n] + \varepsilon \mathbf{I}$ 으로 대체하는 것이다. 이때,

$$\varepsilon = \Delta \cdot \text{tr}(\tilde{\mathbf{R}}[n])$$

[0080] (7)

[0081] 수식 7에서, $\text{tr}()$ 은 트레이스 연산자(trace operator)이고, Δ 는 다이아고날 로딩 팩터(diagonal loading factor)로 불리는 상수이다.

[0082] 공간 스무딩을 통하여 얻어진 MV 가중치들로부터 MV BF 출력을 얻으려면 다음과 같이 연산한다.

$$\tilde{\mathbf{z}}[n] = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L} \mathbf{w}[n]^H \mathbf{x}_l[n]$$

[0083] (8)

[0084] 이때 $\mathbf{w}[n]$ 은 $\tilde{\mathbf{R}}[n]$ 으로부터 계산된다.

[0085] 수식 8을 수식 1의 형태로 재정리하면 다음과 같다.

$$\tilde{\mathbf{z}}[n] = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L} \sum_{k=0}^{L-1} (w_k[n] x_{k+l}[n]) = \frac{1}{M-L+1} \sum_{m=0}^{M-1} \left[\left(\sum_{k=0}^{L-1} w_k[n] r_{m-k} \right) x_m[n] \right]$$

[0086] (9)

$$r_k = \begin{cases} 1 & \text{for } 0 \leq k < M-L+1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0087] 이때,

[0088] 여기서, 수식 1의 w_m 에 해당하는 표준 MV BF의 아포다이제이션 함수는 r_k , 즉 길이 $M-L+1$ 의 직사각형 윈도우(rectangle window)와 $w[n]^H$ 와의 컨볼루션(convolution)의 형태가 됨을 알 수 있다. 초점면(Focal plane)에서의 연속파 빔 패턴은 아포다이제이션 함수(apodization function)의 푸리에 변환 쌍이라는 것이 잘 알려져 있으므로, 결과적으로 표준 MV BF의 아포다이제이션 함수의 빔 패턴은 직사각형 윈도우(rectangle window)의 푸리에 변환 쌍, 즉 싱크함수(sinc function)와 최소 분산(minimum variance)에서 구한 $w[n]^H$ 의 푸리에 변환 쌍과의 곱으로 나타나게 된다. 싱크함수(sinc function)는 전체적으로 중심에서 멀어질수록 점차 줄어드는 형태이므로 공간 스무딩만으로도 메인 로브(main lobe)에서 멀리 떨어진 클러터(clutter)를 어느 정도 감쇄시킬 수 있음을 짐작할 수 있다.

[0089] 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따라 공간 스무딩만을 통해 고주파 성분이 제거됨을 보여주는 그래프이다.

[0090] 세부적으로, 도 4의 (a)는 직사각형 윈도우(rectangle window)로 아포다이제이션한 DAS BF의 포인트 타겟 이미지(point target image)를, 도 4의 (b)는 $w[n]$ 을 직사각형 함수(rectangle function)로 둔 경우 공간 스무딩된 MV BF의 포인트 타겟 이미지를 도시한 것이다.

[0091] $L=M/4$ 이고 정면 방향의 평면파(plane wave)가 송신되었다고 가정한다. 도 4의 (b)를 참조하면, 도 4의 (a)의 DAS BF에서 관찰되는 X 형태의 긴 사이드 로브(side lobe)가 단지 MV BF의 공간 스무딩만에 의해 잘 제거되었음을 확인할 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 르장드르 다항식과 같은 직교 다항식 기반 변환함수를 사용하는 MV BF에서 정면에 가까운 사이드 로브(side lobe) 성분만을 다루고 다른 고주파 성분들은 제거하는 차원 감소(dimensionality reduction)를 하여도 표준 MV BF의 특성을 매우 잘 유지할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0092] 이하, MV BF를 x의 원래의 공간, 즉 요소 공간(element space)에서 적용하는 대신 또 다른 공간으로 변환하고, 변환 공간에서 최소 분산 빔포밍을 수행하는 MV BF 방법에 대해 후술한다.

[0093] 변환함수 V가 $L \times L$ 풀 랭크 행렬(full rank matrix)이고, V의 컬럼들이 서로 정규직교(orthonormal)한다고 가정하면, 수식 4의 어떠한 가중치 w도 다음과 같이 V의 컬럼들의 선형 조합으로 표현될 수 있다.

[0094]
$$\mathbf{w} = \mathbf{V}\boldsymbol{\beta} \quad (10)$$

[0095] 이때 $\boldsymbol{\beta}$ 는 $L \times 1$ 컬럼 벡터이다.

[0096] 그러면, 주어진 V에 대해 MV BF 해는 다음과 같이 구해진다.

[0097]
$$\boldsymbol{\beta} = \frac{\mathbf{R}_1^{-1} \mathbf{v}_1}{\mathbf{v}_1^H \mathbf{R}_1^{-1} \mathbf{v}_1} \quad (11)$$

[0098] 이때 $\mathbf{R}_1 = \mathbf{V}^H \mathbf{R} \mathbf{V}$, $\mathbf{u} = \mathbf{V}^H \mathbf{x}$, $\mathbf{v}_1 = \mathbf{V}^H \mathbf{a}$ 이다. 즉, 수식 11은 x를 V로 변환한 공간에서의 MV BF 해이다.

[0099] 실제 상황에서 $\tilde{\mathbf{R}}^{-1}$ 을 잘 추정하기 위해서는 공간 스무딩이 필요한데, 이것은 다음과 같은 연산으로 수행한다.

[0100]
$$\tilde{\mathbf{R}}_1 = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L} \mathbf{u}_l \mathbf{u}_l^H \quad (12)$$

[0101] 이 $\tilde{\mathbf{R}}^{-1}$ 이 (11)의 $\mathbf{R}_1$ 을 대체한다. 이때 $\mathbf{u}_l = \mathbf{V}^H \mathbf{x}_l$ 이고,

[0102]
$$\mathbf{u}_l = \begin{bmatrix} u_{l,0}[n] \\ u_{l,1}[n] \\ \vdots \\ u_{l,L-1}[n] \end{bmatrix} \quad (13)$$

[0103] 이다.

[0104] 공간 스무딩을 고려한 빔포밍 장치의 출력은 다음과 같다.

$$\tilde{\mathbf{z}} = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L} \boldsymbol{\beta}^H \mathbf{u}_l \quad (14)$$

한편, 변환 공간에서의 MV BF 방법들은 특히 변환 공간에서 중요한 몇몇 성분들만을 이용함으로써 $\tilde{\mathbf{R}}$ 의 역행렬 연산에 필요한 계산량을 대폭 줄일 수 있다. $\mathbf{V}$ 를 구성하는 몇 개의 첫 컬럼들이 MV BF 연산을 함에 있어서 중요한 성분들을 나타내고 있으므로, 그 컬럼들만을 이용해서 입력신호 $\mathbf{x}$ 를 변환함으로써 $\tilde{\mathbf{R}}$ 의 차원을 줄일 수 있다. 따라서, 그것의 역행렬 연산량은 더욱 줄일 수 있게 된다.

$\hat{\mathbf{V}}$ 가 $\mathbf{V}$ 의 첫 컬럼들로 구성된 부분공간(subspace)을 나타낸다고 하면, 다음을 얻을 수 있다.

$$\hat{\mathbf{V}} = [\mathbf{v}_0, \mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_{Q-1}] \quad (15)$$

여기서, $Q \leq L$ 이다. 그러면 이 $\hat{\mathbf{V}}$ 를 써서 계산된 가중치는 다음 수식과 같다.

$$\hat{\mathbf{w}} = \hat{\mathbf{V}} \hat{\boldsymbol{\beta}} \quad (16)$$

$$\text{이때, } \hat{\boldsymbol{\beta}} = \frac{\hat{\mathbf{R}}_1^{-1} \hat{\mathbf{v}}_1}{\hat{\mathbf{v}}_1^H \hat{\mathbf{R}}_1^{-1} \hat{\mathbf{v}}_1}, \quad \hat{\mathbf{R}}_1 = E[\hat{\mathbf{u}} \cdot \hat{\mathbf{u}}^H], \quad \hat{\mathbf{u}} = \hat{\mathbf{V}}^H \mathbf{x}_l, \quad \hat{\mathbf{v}}_1 = \hat{\mathbf{V}}^H \mathbf{a}.$$

실제에서 공간 스무딩을 사용하여 $\hat{\mathbf{R}}_1$ 을 추정하는 경우, $\hat{\mathbf{R}}_1$ 은 다음과 같이 나타내진다.

$$\hat{\mathbf{R}}_1 = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L} \hat{\mathbf{u}}_l \hat{\mathbf{u}}_l^H \quad (17)$$

이때,

$$\hat{\mathbf{u}}_l = \begin{bmatrix} u_{l,0}[n] \\ u_{l,1}[n] \\ \vdots \\ u_{l,Q-1}[n] \end{bmatrix} \quad (18)$$

이하, MV BF에서의 변환함수들에 대해 수식들을 이용하여 설명한다.

MV BF의 역행렬 연산을 줄이기 위해 사용된, 알려진 변환함수로는 BA BF를 위한 푸리에 변환행렬(Fourier transform matrix)(버틀러 행렬: Butler matrix이라고도 함), PCA MV BF를 위한 PCA에 의해 구해진 행렬 등이 있다.

푸리에 변환행렬 $\mathbf{B} \in \mathbb{C}^{L,L}$ 의 m 번째 행(row), n 번째 컬럼(column)의 성분 $B_{m,n}$ 은 다음의 수식과 같다.

$$B_{m,n} = \frac{1}{\sqrt{L}} e^{-j2\pi mn/L} \quad (19)$$

이 푸리에 변환행렬은 요소 공간(element space)을 변환 공간(transformed space)으로 변환해 준다. 이 중 첫 번째 몇 컬럼은 저주파수 성분을 나타내며, 집속점(focal point) 방향 및 이것에 가까운 빔 성분에 해당한다. 간섭(Interference)이 주로 정면 방향 부근에서 발생한다고 가정하면, 이 컬럼들만을 사용함으로써 효율적으로 차원을 감소할 수 있다. 나아가, 전술한 바와 같이 공간 스무딩은 정면에서 먼 곳으로부터의 간섭을 줄이는 효과가 있다.

또 다른 접근인 PCA MV BF에서는 실제 이미지 처리환경과 유사한 환경에서 표준 MV BF를 사용하여 계산된 수많은 MV 가중치들의 집합에 PCA를 적용함으로써 변환함수 V를 구한다. 따라서, 이 V의 컬럼들은 주성분들로 구성되어 있으며, 첫 번째 몇 개의 컬럼만을 사용함으로써 충실하게 차원을 감소시킬 수 있다. 이 컬럼들 역시, 정면 방향 및 그 부근의 빔 성분을 나타내고 있다.

이하, 본 발명의 일 실시 예에 따른 르장드르 다항식으로 구성된 변환함수에 대해 수식을 참조로 하여 설명한다.

일 실시 예에 따른 빔포밍 장치는 요소 공간(element space)의 신호를 변환 공간(transformed space)으로 변환하기 위한 또 변환함수로서 르장드르 다항식으로 만들어진 행렬을 사용하는 르장드르 다항식 기반 최소분산 빔포밍(LP MV BF) 방식을 사용한다. 이하, 다른 변환함수를 사용한 경우와 비교하여 르장드르 다항식을 사용하는 경우의 MV BF 성능에 대해 설명한다.

르장드르 다항식으로 만들어진 변환함수의 첫 몇 개의 컬럼은 푸리에 변환함수와 마찬가지로 저주파수 성분(low frequency component)을 충실히 나타낼 수 있다. 그람-슈미트 정규직교화 프로세스(Gram-Schmidt orthonormalization process)를 일련의 다항식 $\{1, n, n^2, \dots, n^{L-1}\}$ 에 적용하여 얻은 르장드르 다항식들을 각각 V의 컬럼으로 사용할 수 있다. 다시 말하면, $V=P$, $P=[P_0, P_1, \dots, P_{L-1}]$ 이다. 이때, P_k 는 P의 k번째 컬럼, 또 $P_k=[P_{0k},$

$P_{1k}, \dots, P_{(L-1)k}]^T$, 또 $P_{mk} = \sum_{n=0}^k m^n c_{nk}$ 이다. c_{nk} 는 그람-슈미트 단위직교화 프로세스에 의해 결정된다.

예를 들어, P_2 는 다음의 수식과 같다.

$$P_2 = \begin{bmatrix} P_{02} \\ P_{12} \\ P_{22} \\ \vdots \\ P_{(L-1)2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{02} \\ c_{22} + c_{12} + c_{02} \\ 4c_{22} + 2c_{12} + c_{02} \\ \vdots \\ (L-1)^2 c_{22} + (L-1)c_{12} + c_{02} \end{bmatrix}$$

(20)

P의 컬럼들은 차례로 저주파수 성분(low frequency component)으로부터 고주파수 성분(high frequency component)들을 나타내고 있다.

도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 르장드르 다항식 기반 변환함수 P의 연속파(CW) 빔 패턴을, 푸리에 변환함수 B 및 PCA MV BF의 변환함수의 연속파(CW) 빔 패턴들과 비교한 그래프이다.

세부적으로, 도 5는 P의 두 번째 컬럼, 즉 P_1 의 CW 빔 패턴을, 푸리에 변환함수 B 및 PCA MV BF의 변환함수 $\hat{V}$ 의 두 번째 컬럼들의 연속파(CW) 빔 패턴들과 비교한 것이다.

- [0130] 수식 16, 즉 $\hat{\mathbf{w}} = \hat{\mathbf{V}}\hat{\boldsymbol{\beta}}$ 에서 $\hat{\mathbf{w}}$ 는 $\hat{\mathbf{V}}$ 의 첫 몇 개의 컬럼들을 $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ 를 써서 가중치 합산(weighted sum)하고 있으므로, $\hat{\mathbf{w}}$ 의 CW 빔 패턴 또한 $\hat{\mathbf{V}}$ 의 컬럼들의 CW 빔 패턴을 $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ 를 써서 가중치 합산(weighted sum)한 것이다. P로부터의 CW 빔 패턴은 PCA MV BF의 변환함수의 CW 빔 패턴과 상당히 유사한 패턴을 가짐을 확인할 수 있다.
- [0131] 그러나, P_1 은 B의 두 번째 컬럼 b_1 에 비해 더욱 낮은 주파수 성분을 가지며, b_1 의 경우와는 달리, 빔 패턴의 절댓값이 0도에 대해 좌우 대칭이다. 이러한 특징들은 P를 사용하는 경우가 B를 사용하는 경우에 비해 $Q=2$ 인 경우에도 정면에 가까운 간섭을 더욱 효과적으로 억제하여 포인트 타겟 이미지가 더욱 예리(sharp)하면서도 좌우 대칭이 되도록 해 주는 장점으로 작용한다.
- [0132] 한편, B의 어떤 컬럼의 CW 빔 패턴에서 널 포인트(null point)의 방향은 다른 컬럼의 CW 빔 패턴에서도 역시 널 포인트 방향이지만, P의 경우는, 도 2에서 관찰되듯, 그렇지 않은 경우가 있다. 예를 들어 $Q=2$ 인 경우, p_1 의 CW 빔 패턴의 첫 번째 널 포인트 방향으로부터 간섭이 수신되는 경우, 어떠한 $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ 를 쓰더라도 그 간섭을 없앨 수 없다. 왜냐하면, 그 방향에 대해서는 P_1 이 기여할 할 수 없기 때문이다. 이런 점은 PCA MV BF의 변환함수를 사용하는 경우에도 거의 마찬가지이며, 연속파를 사용할 경우는 P의 심각한 단점일 수 있다. 그러나, 광대역 신호(wide-band signal)를 사용하는 실제 초음파 진단기에서는 다양한 주파수가 섞여 있는 경우이므로 빔 패턴에서 그러한 널 포인트가 선명히 나타나지 않으며, 따라서 그러한 점이 크게 문제가 되지 않는다. 오히려, 동일한 차원 감소에 대해, LP MV BF의 성능이 인접한 포인트 타겟들을 분해하는 능력에 있어서는 다른 두 방법에 비해 비슷하거나 더 우수하고, 차원 감소에 의한 근사화(approximation) 오류에 있어서는 BA BF에 비해서는 거의 항상 적고, 대부분의 경우 PCA MV BF과는 거의 차이가 없다.
- [0133] LP MV BF의 장점 중 하나는, 변환함수가 실수(real number)로만 구성되어 있다는 점이다. BA BF 또는 PAC MV BF는 원칙적으로 복소수여야 한다. 따라서, 변환 연산이 간단해진다.
- [0134] 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 빔포밍 방법을 도시한 흐름도이다.
- [0135] 도 6을 참조하면, 일 실시 예에 따른 빔포밍 장치는 요소 공간의 입력신호를 변환함수를 사용하여 다른 공간인 변환 공간으로 변환하고, 변환 공간에서 신호처리를 통해 빔 신호를 생성하여 출력한다(610).
- [0136] 일 실시 예에 따른 빔포밍 장치는 공간 변환 시에, 직교 다항식으로 구성된 변환함수를 이용한다. 직교 다항식은 직교 관계를 만족시키는 일련의 다항식들이다. 직교 다항식은 예를 들어, 에르미트 다항식, 라게르 다항식, 야코비 다항식, 구겐바우어 다항식, 체비쇼프 다항식 또는 르장드르 다항식(Legendre polynomial) 중 어느 하나일 수 있다.
- [0137] 일 실시 예에 따른 빔포밍 장치는 공간 변환 시에, 르장드르 다항식(Legendre polynomial)으로 구성된 정규직교 행렬(orthonormal matrix)을 변환함수로 사용한다. 특히, 빔포밍 장치는 최소분산 빔포밍(MV BF) 방법에서 르장드르 다항식을 변환함수로 사용할 수 있다. 이 경우, MV BF의 계산량을 대폭 줄이면서도 성능을 유지할 수 있다.
- [0138] 일 실시 예에 따른 빔포밍 장치는 빔포밍을 위해 저대역 통과 필터(low pass filter)를 이용하여 빔 패턴의 정면에 가까운 사이드 로브에 해당하는 요소 공간에서의 저주파수 성분을 필터링하여 획득한다(610). 이때, 빔포밍 장치는 변환함수를 구성하는 컬럼들 중에서 저주파수 성분을 나타내는 첫 소정의 컬럼들을 선택한다. 저대역 통과 필터링이 가능한 이유는 공간 스무딩을 통해 정면 멀리에서 빔 패턴이 형성되는 고주파 성분이 대부분 제거되기 때문이다.
- [0139] 빔포밍 장치가 변환 공간에서 최소분산 빔포밍(MV BF) 방법을 통해 빔포밍하는 경우, 변환 공간에서 중요한 몇몇 성분들만을 이용함으로써 공간 공분산 행렬의 역행렬 연산에 필요한 계산량을 대폭 줄일 수 있다. 예를 들어, 변환함수 중에 몇 개의 첫 컬럼들만을 선택해서 입력신호를 변환함수로써 공간 공분산 행렬의 차원을 줄인다. 변환함수 중 몇 개의 첫 컬럼들은 최소분산 빔포밍(MV BF) 연산에 있어서 중요한 성분들을 나타낸다.
- [0140] 빔포밍 장치가 직교 다항식 기반 최소분산 빔포밍 방식을 수행하는 경우, 직교 다항식으로 만들어진 변환함수의 첫 몇 개의 컬럼만을 사용한다. 이 변환함수의 컬럼들은 차례로 저주파수 성분으로부터 고주파수 성분들을 나타내므로, 첫 몇 개의 컬럼은 푸리에 변환함수와 마찬가지로 저주파수 성분에 해당한다.
- [0141] 최소분산 빔포밍(MV BF)의 공간 스무딩을 통해 시간 지연 빔포밍(DAS BF) 방법에서 관찰되는 X 형태의 긴 사이

드 로브(side lobe)가 제거될 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 직교 다항식 기반 변환함수를 사용하는 최소분산 빔포밍(MV BF)에서 정면에 가까운 사이드 로브(side lobe) 성분만을 다루고 고주파 성분들은 제거하는 차원 감소(dimensionality reduction)를 하여도 최소분산 빔포밍(MV BF)의 특성을 매우 잘 유지할 수 있다.

[0142] 전술한 바에 따르면, 본 발명은 초음파 진단기뿐만 아니라, 레이더, 소나, 비파괴검사 등 다양한 어레이 신호 처리 분야에 모두 적용될 수 있다.

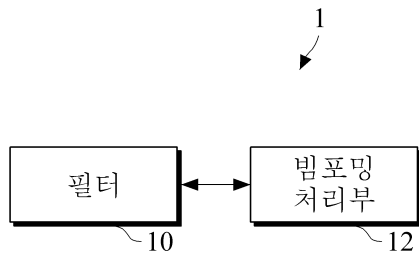
[0143] 이제까지 본 발명에 대하여 그 실시 예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

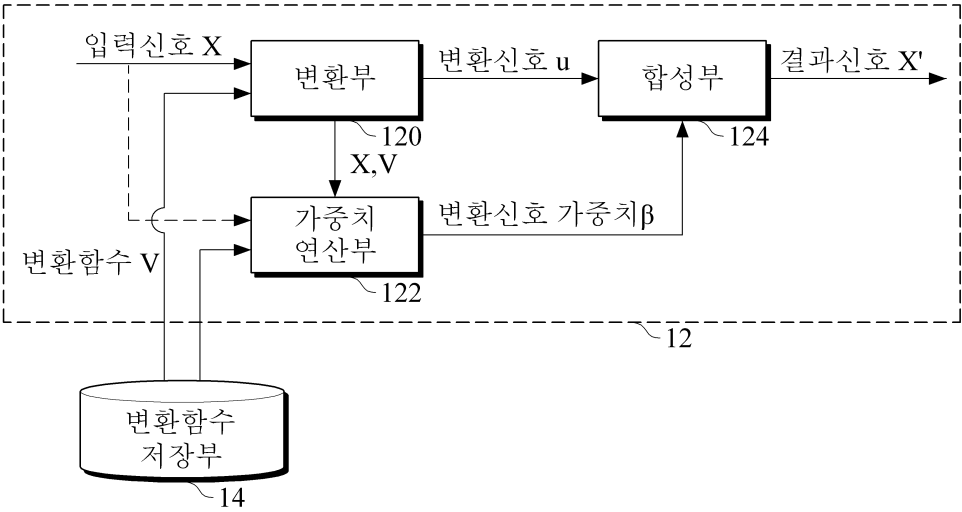
[0144]	1: 빔포밍 장치	10: 필터
	12: 빔포밍 처리부	120: 변환부
	122: 가중치 연산부	124: 합성부
	14: 변환함수 저장부	3: 초음파 이미징 장치
	300: 트랜스듀서	310: 빔포밍부
	320: 영상 생성부	330: 표시부
	340: 저장부	350: 출력부

도면

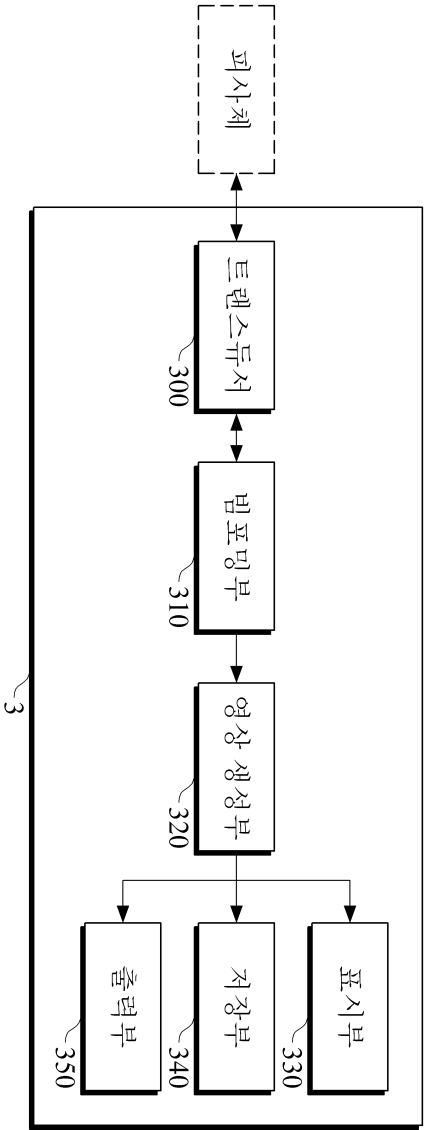
도면1



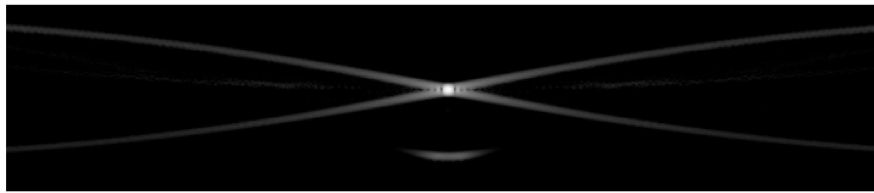
도면2



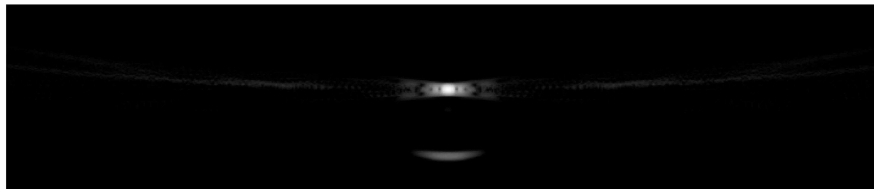
도면3



도면4

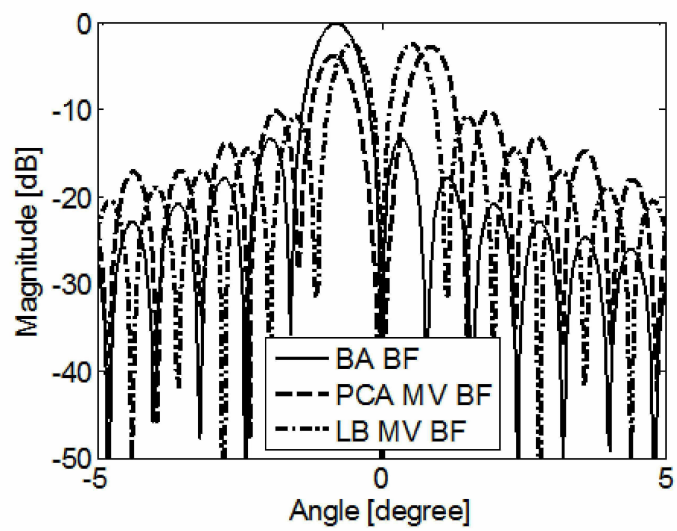


(a)

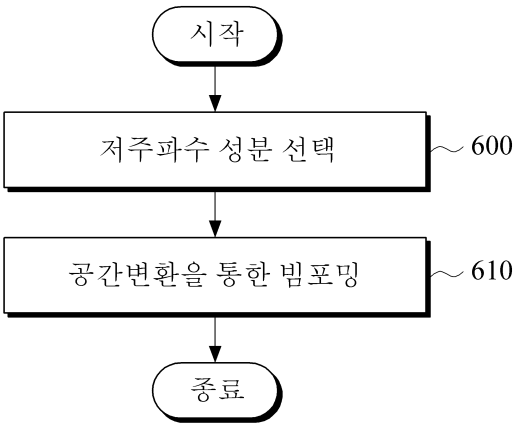


(b)

도면5



도면6



专利名称(译)	波束形成装置，超声波成像装置和波束形成方法		
公开(公告)号	KR101881835B1	公开(公告)日	2018-07-25
申请号	KR1020160045749	申请日	2016-04-14
[标]申请(专利权)人(译)	爱飞纽医疗机械贸易有限公司		
申请(专利权)人(译)	铝齿轮医疗系统有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	铝齿轮医疗系统有限公司		
[标]发明人	BAE MOO HO 배무호		
发明人	배무호		
IPC分类号	G01S15/89 A61B8/00		
CPC分类号	G01S15/8906 A61B8/4483		
其他公开文献	KR1020160046777A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

公开了一种波束形成装置，超声波成像装置和波束形成方法。根据实施例的波束形成方法包括使用由正交多项式配置的变换函数将输入信号转换到另一空间，并且通过变换空间中的信号处理生成波束信号。

1

