



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0020183
(43) 공개일자 2020년02월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

A61B 8/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

A61B 8/54 (2013.01)

A61B 8/4477 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0095573

(22) 출원일자 2018년08월16일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

삼성메디슨 주식회사

강원도 홍천군 남면 한서로 3366

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

김강식

경기도 성남시 분당구 성남대로 884-4

송태경

서울시 종로구 평창문화로 156, 101동 703호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인세림

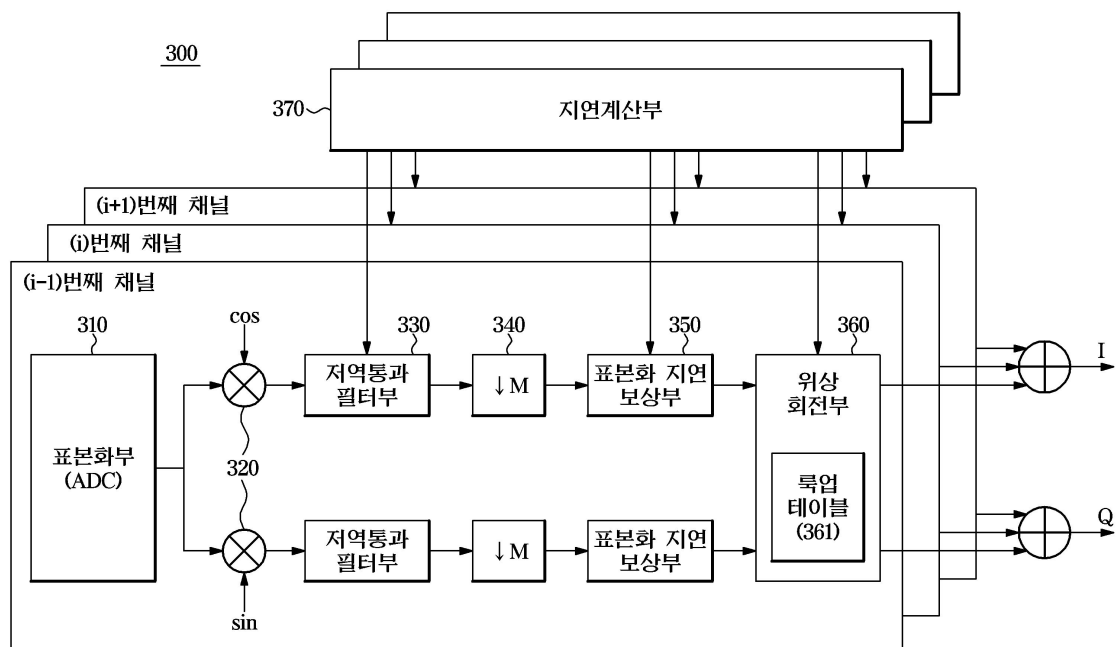
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 빔포밍 장치, 빔포밍 장치의 제어방법 및 초음파 진단 장치

(57) 요약

개시된 일 실시예에 따른 빔포밍 장치는, 시간 지연 해상도와 위상 해상도를 독립적으로 적용하기 위해, 집속점으로부터 반사되어 트랜스듀서 어레이로 수신된 신호를 표본화하는 표본화부, 상기 표본화된 신호를 동상(Inphase) 성분 신호와 직교(Quadrature) 성분 신호로 분리하는 믹서부, 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 (뒷면에 계속)

대표도



신호에 대해 필터링을 수행하는 저역 통과 필터부, 필터링된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해 데시메이션을 수행하는 데시메이션부, 데시메이션된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해, 미리 설정된 시간 지연 해상도를 기초로 표본화 시간 지연을 보상하는 표본화 지연 보상부, 표본화 시간 지연이 보상된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해, 미리 설정된 위상 해상도를 기초로 위상 지연을 보상하는 위상 회전부 및 상기 시간 지연 해상도 및 상기 위상 해상도를 각각 산출하여 상기 표본화 지연 보상부 및 상기 위상 회전부에 각각 인가하는 지연계산부를 포함할 수 있다.

(72) 발명자

김성호

서울특별시 노원구 섭발로 229(하계동, 극동, 건영, 벽산아파트) 9동 1510호

배수아

서울시 서초구 서초대로 64길 31, 902호

송현우

서울특별시 강남구 테헤란로52길 15(역삼동) 912호

장진태

서울특별시 마포구 신촌로12길 18(동교동) 210호

명세서

청구범위

청구항 1

집속점에서 반사되어 트랜스듀서 어레이로 수신된 신호를 표본화하는 표본화부;

상기 표본화된 신호를 동상(Inphase) 성분 신호와 직교(Quadrature) 성분 신호로 분리하는 믹서부;

상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해 필터링을 수행하는 저역 통과 필터부;

필터링된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해 데시메이션을 수행하는 데시메이션부;

데시메이션된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해, 미리 설정된 시간 지연 해상도를 기초로 표본화 시간 지연을 보상하는 표본화 지연 보상부;

표본화 시간 지연이 보상된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해, 미리 설정된 위상 해상도를 기초로 위상 지연을 보상하는 위상 회전부; 및

상기 시간 지연 해상도 및 상기 위상 해상도를 각각 산출하여 상기 표본화 지연 보상부 및 상기 위상 회전부에 각각 인가하는 지연계산부; 를 포함하는 빔포밍 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 위상 회전부는,

상기 위상 해상도에 대응하는 위상 지연 보상값을 저장한 룩업테이블; 을 포함하고,

상기 룩업테이블을 참조하여 상기 위상 지연을 보상하는 빔포밍 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 위상 회전부는,

상기 집속점으로부터 상기 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식 및 상기 위상 해상도를 이용하여 위상 지연 보상값을 산출하고, 산출된 위상 지연 보상값을 상기 룩업테이블에 저장하는 빔포밍 장치.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 위상 회전부는,

상기 집속점으로부터 상기 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식 및 상기 위상 해상도를 이용하여 참조할 상기 룩업테이블의 주소를 산출하는 빔포밍 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 지연계산부는,

진폭 에러의 평균과 위상 에러의 평균을 기초로 정의되는 에러 모델을 이용하여 상기 시간 지연 해상도 및 상기 위상 해상도를 서로 다른 값으로 산출하는 빔포밍 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 저역 통과 필터부는,

상기 시간 지연 해상도에 따라 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호의 데이터 양을 증가시키는 보간 필터(Interpolation Filter)를 포함하는 빔포밍 장치.

청구항 7

집속점에서 반사되어 트랜스듀서 어레이로 수신된 신호를 표본화하는 단계;

상기 표본화된 신호를 동상(Inphase) 성분 신호와 직교(Quadrature) 성분 신호로 분리하는 단계;

시간 지연 해상도 및 위상 해상도를 각각 산출하는 단계;

상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해 미리 설정된 대역으로 필터링을 수행하는 단계;

필터링된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해 데시메이션을 수행하는 단계;

데시메이션된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해, 상기 시간 지연 해상도를 기초로 표본화 시간 지연을 보상하는 단계; 및

표본화 시간 지연이 보상된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해, 상기 위상 해상도를 기초로 위상 지연을 보상하는 단계; 를 포함하는 빔포밍 장치의 제어방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 위상 지연을 보상하는 단계는,

상기 위상 해상도에 대응하는 위상 지연 보상값을 저장한 룩업테이블을 참조하여 상기 위상 지연을 보상하는, 빔포밍 장치의 제어방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 위상 지연을 보상하는 단계는,

상기 집속점으로부터 상기 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식 및 상기 위상 해상도를 이용하여 위상 지연 보상값을 산출하고, 산출된 위상 지연 보상값을 상기 룩업테이블에 저장하는 단계; 를 더 포함하는 빔포밍 장치의 제어방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 위상 지연을 보상하는 단계는,

상기 집속점으로부터 상기 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식 및 상기 위상 해상도를 이용하여 참조할 상기 룩업테이블의 주소를 산출하는 단계; 를 더 포함하는 빔포밍 장치의 제어방법.

청구항 11

제7항에 있어서,

상기 시간 지연 해상도 및 위상 해상도를 산출하는 단계는,

진폭 에러의 평균과 위상 에러의 평균을 기초로 정의되는 에러 모델을 이용하여 상기 시간 지연 해상도 및 상기 위상 해상도를 서로 다른 값으로 산출하는, 빔포밍 장치의 제어방법.

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 필터링을 수행하는 단계는,

상기 시간 지연 해상도에 따라 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호의 데이터 양을 증가시키는 보간(Interpolation)을 수행하는 단계; 를 더 포함하는 빔포밍 장치의 제어방법.

청구항 13

초음파 신호를 송수신하는 트랜스듀서 어레이 및 빔포밍 장치를 포함하는 프로브;

상기 프로브로부터 수신된 신호를 처리하여 초음파 영상을 생성하고, 생성된 초음파 영상을 표시하는 본체;를 포함하고,

상기 빔포밍 장치는,

집속점에서 반사되어 상기 트랜스듀서 어레이로 수신된 신호를 표본화 하고, 상기 표본화된 신호를 동상(Inphase) 성분 신호와 직교(Quadrature) 성분 신호로 분리하며, 시간 지연 해상도 및 상기 위상 해상도를 각각 산출하고, 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해, 상기 시간 지연 해상도 및 상기 위상 해상도를 기초로 표본화 시간 지연 및 위상 지연을 각각 보상하는, 초음파 진단 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 빔포밍 장치는,

상기 위상 해상도에 대응하는 위상 지연 보상값을 저장한 룩업테이블; 을 포함하고, 상기 룩업테이블을 참조하여 상기 위상 지연을 보상하는 초음파 진단 장치.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 빔포밍 장치는,

상기 집속점으로부터 상기 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식 및 상기 위상 해상도를 이용하여 위상 지연 보상값을 산출하고, 산출된 위상 지연 보상값을 상기 룩업테이블에 저장하는 초음파 진단 장치.

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 빔포밍 장치는,

상기 집속점으로부터 상기 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식 및 상기 위상 해상도를 이용하여 참조할 상기 룩업테이블의 주소를 산출하는 초음파 진단 장치.

청구항 17

제14항에 있어서,

상기 빔포밍 장치는,

진폭 에러의 평균과 위상 에러의 평균을 기초로 정의되는 에러 모델을 이용하여 상기 시간 지연 해상도 및 상기 위상 해상도를 서로 다른 값으로 산출하는 초음파 진단 장치.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 빔포밍 장치, 빔포밍 장치의 제어방법 및 초음파 진단 장치에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 초음파 진단 장치는 프로브(probe)의 트랜스듀서(transducer)로부터 생성 되는 초음파 신호를 대상체의 체표로부터 체내의 타겟 부위를 향하여 조사하고, 반사된 초음파 신호(초음파 에코신호)의 정보를 이용하여 연부조직의 단층이나 혈류에 관한 이미지를 비침습적으로 얻는 장치이다.
- [0003] 초음파 진단 장치는 X선 진단장치, X선 CT스캐너(Computerized Tomography Scanner), MRI(Magnetic Resonance Image), 핵의학 진단 장치 등의 다른 영상 진단 장치와 비교할 때, 소형이고 저렴하며, 실시간으로 표시 가능하고, 방사선 등의 피폭이 없어 안전성이 높은 장점이 있으므로, 심장, 복부, 비뇨기 및 산부인과 진단을 위해 널리 이용되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0004] 본 발명은, 시간 지연 해상도와 위상 해상도를 독립적으로 적용함으로써 시간 지연과 위상 지연을 독립적으로 보상할 수 있는 빔포밍 장치, 빔포밍 장치의 제어방법 및 초음파 진단 장치를 제공한다.
- [0005] 또한, 위상 지연 보상을 위한 위상 회전 수행 시 록업테이블을 이용함으로써, 하드웨어 복잡도를 높이지 않고도 위상 회전을 위한 연산량을 감소시킬 수 있는 빔포밍 장치, 빔포밍 장치의 제어방법 및 초음파 진단 장치를 제공한다.
- [0006] 또한, 시간 지연 해상도보다 높은 위상 해상도를 적용함으로써, 하드웨어 복잡도를 줄이면서도 충분히 많은 위상 양자화 수준으로 위상 회전을 수행하여 빔포밍 성능을 향상시킬 수 있는 빔포밍 장치, 빔포밍 장치의 제어방법 및 초음파 진단 장치를 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0007] 일 측면에 따른 빔포밍 장치는, 집속점에서 반사되어 트랜스듀서 어레이로 수신된 신호를 표본화하는 표본화부, 상기 표본화된 신호를 동상(Inphase) 성분 신호와 직교(Quadrature) 성분 신호로 분리하는 믹서부, 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해 필터링을 수행하는 저역 통과 필터부, 필터링된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해 데시메이션을 수행하는 데시메이션부, 데시메이션된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해, 미리 설정된 시간 지연 해상도를 기초로 표본화 시간 지연을 보상하는 표본화 지연 보상부, 표본화 시간 지연이 보상된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해, 미리 설정된 위상 해상도를 기초로 위상 지연을 보상하는 위상 회전부 및 상기 시간 지연 해상도 및 상기 위상 해상도를 각각 산출하여 상기 표본화 지연 보상부 및 상기 위상 회전부에 각각 인가하는 지연계산부를 포함한다.
- [0008] 또한, 상기 위상 회전부는, 상기 위상 해상도에 대응하는 위상 지연 보상값을 저장한 록업테이블; 을 포함하고, 상기 록업테이블을 참조하여 상기 위상 지연을 보상할 수 있다.
- [0009] 또한, 상기 위상 회전부는, 상기 집속점으로부터 상기 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식 및 상기 위상 해상도를 이용하여 위상 지연 보상값을 산출하고, 산출된 위상 지연 보상값을 상기 록업테이블에 저장할 수 있다.
- [0010] 또한, 상기 위상 회전부는, 상기 집속점으로부터 상기 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식 및 상기 위상 해상도를 이용하여 참조할 상기 록업테이블의 주소를 산출할 수 있다.
- [0011] 또한, 상기 지연계산부는, 진폭 에러의 평균과 위상 에러의 평균을 기초로 정의되는 에러 모델을 이용하여 상기 시간 지연 해상도 및 상기 위상 해상도를 서로 다른 값으로 산출할 수 있다.
- [0012] 또한, 상기 저역 통과 필터부는, 상기 시간 지연 해상도에 따라 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호의 데이터 양을 증가시키는 보간 필터(Interpolation Filter)를 포함할 수 있다.
- [0013] 다른 측면에 따른 빔포밍 장치의 제어방법은, 집속점으로부터 반사되어 트랜스듀서 어레이로 수신된 신호를 표본화하는 단계, 상기 표본화된 신호를 동상(Inphase) 성분 신호와 직교(Quadrature) 성분 신호로 분리하는 단계, 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해 미리 설정된 대역으로 필터링을 수행하는 단계, 필터링된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해 데시메이션을 수행하는 단계, 시간 지연 해상도 및 위상 해상도를 각각 산출하는 단계, 데시메이션된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해, 상기 시간

지연 해상도를 기초로 표본화 시간 지연을 보상하는 단계, 및 표본화 시간 지연이 보상된 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해, 상기 위상 해상도를 기초로 위상 지연을 보상하는 단계를 포함한다.

- [0014] 또한, 상기 위상 지연을 보상하는 단계는, 상기 위상 해상도에 대응하는 위상 지연 보상값을 저장한 룩업테이블을 참조하여 상기 위상 지연을 보상할 수 있다.
- [0015] 또한, 상기 위상 지연을 보상하는 단계는, 상기 집속점으로부터 상기 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식 및 상기 위상 해상도를 이용하여 위상 지연 보상값을 산출하고, 산출된 위상 지연 보상값을 상기 룩업테이블에 저장할 수 있다.
- [0016] 또한, 상기 위상 지연을 보상하는 단계는, 상기 집속점으로부터 상기 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식 및 상기 위상 해상도를 이용하여 참조할 상기 룩업테이블의 주소를 산출하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 시간 지연 해상도 및 위상 해상도를 산출하는 단계는, 진폭 에러의 평균과 위상 에러의 평균을 기초로 정의되는 에러 모델을 이용하여 상기 시간 지연 해상도 및 상기 위상 해상도를 서로 다른 값으로 산출할 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 필터링을 수행하는 단계는, 상기 시간 지연 해상도에 따라 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호의 데이터 양을 증가시키는 보간(Interpolation)을 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0019] 다른 측면에 따른 초음파 진단 장치는 초음파 신호를 송수신하는 트랜스듀서 어레이 및 빔포밍 장치를 포함하는 프로브 및 상기 프로브로부터 수신된 신호를 처리하여 초음파 영상을 생성하고, 생성된 초음파 영상을 표시하는 본체를 포함하고, 상기 빔포밍 장치는, 집속점으로부터 반사되어 상기 트랜스듀서 어레이로 수신된 신호를 표본화 하고, 상기 표본화된 신호를 동상(Inphase) 성분 신호와 직교(Quadrature) 성분 신호로 분리하며, 시간 지연 해상도 및 상기 위상 해상도를 각각 산출하고, 상기 동상 성분 신호와 상기 직교 성분 신호에 대해, 상기 시간 지연 해상도 및 상기 위상 해상도를 기초로 표본화 시간 지연 및 위상 지연을 각각 보상할 수 있다.
- [0020] 또한, 상기 빔포밍 장치는, 상기 위상 해상도에 대응하는 위상 지연 보상값을 저장한 룩업테이블; 을 포함하고, 상기 룩업테이블을 참조하여 상기 위상 지연을 보상할 수 있다.
- [0021] 또한, 상기 빔포밍 장치는, 상기 집속점으로부터 상기 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식 및 상기 위상 해상도를 이용하여 위상 지연 보상값을 산출하고, 산출된 위상 지연 보상값을 상기 룩업테이블에 저장할 수 있다.
- [0022] 또한, 상기 빔포밍 장치는, 상기 집속점으로부터 상기 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식 및 상기 위상 해상도를 이용하여 참조할 상기 룩업테이블의 주소를 산출할 수 있다.
- [0023] 또한, 상기 빔포밍 장치는, 진폭 에러의 평균과 위상 에러의 평균을 기초로 정의되는 에러 모델을 이용하여 상기 시간 지연 해상도 및 상기 위상 해상도를 서로 다른 값으로 산출할 수 있다.

발명의 효과

- [0024] 본 발명의 빔포밍 장치, 빔포밍 장치의 제어방법 및 초음파 진단 장치는, 시간 지연 해상도와 위상 해상도를 독립적으로 적용함으로써 시간 지연과 위상 지연을 독립적으로 보상할 수 있다.
- [0025] 또한, 위상 지연 보상을 위한 위상 회전 수행 시 룩업테이블을 이용함으로써, 하드웨어 복잡도를 높이지 않고도 위상 회전을 위한 연산량을 감소시킬 수 있다.
- [0026] 또한, 시간 지연 해상도보다 높은 위상 해상도를 적용함으로써, 하드웨어 복잡도를 줄이면서도 충분히 많은 위상 양자화 수준으로 위상 회전을 수행하여 빔포밍 성능을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 일 실시예에 따른 초음파 진단 장치의 외관을 나타낸 도면이다.
- 도 2는 일 실시예에 따른 초음파 진단 장치의 제어 블록도이다.
- 도 3은 수신 빔포밍 시에 적용되는 수신 신호의 시간 지연을 나타낸 도면이다.
- 도 4는 일 실시예에 따른 빔포밍 장치의 제어 블록도이다.

도 5는 일 실시예에 따른 빔포머를 구체적으로 나타낸 제어 블록도이다.
 도 6은 복소 평면에서 위상 회전을 설명하기 위한 도면이다.
 도 7은 위상 회전부의 내부 구조를 나타낸 도면이다.
 도 8은 초음파 신호의 송수신 거리 모형을 나타낸 도면이다.
 도 9는 시간 지연을 표본화하는 것을 설명하기 위한 도면이다.
 도 10은 시간 지연 해상도와 위상 해상도에 따른 평균 에러를 도시한 그래프이다.
 도 11 및 도 12는 록업테이블을 구성하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
 도 13은 종래기술과 본 발명에 따라 출력된 빔포밍 영상을 비교하는 도면이다.
 도 14는 일 실시예에 따른 빔포밍 방법의 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 이하에서는 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다.
- [0029] 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다. 본 명세서가 실시예들의 모든 요소들을 설명하는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 일반적인 내용 또는 실시예들 간에 중복되는 내용은 생략한다. 명세서에서 사용되는 '부, 모듈, 부재, 블록'이라는 용어는 소프트웨어 또는 하드웨어로 구현될 수 있으며, 실시예들에 따라 복수의 '부, 모듈, 부재, 블록'이 하나의 구성요소로 구현되거나, 하나의 '부, 모듈, 부재, 블록'이 복수의 구성요소들을 포함하는 것도 가능하다.
- [0030] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 직접적으로 연결되어 있는 경우뿐 아니라, 간접적으로 연결되어 있는 경우를 포함하고, 간접적인 연결은 무선 통신망을 통해 연결되는 것을 포함한다.
- [0031] 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 의미한다.
- [0032] 제 1, 제 2 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 전술된 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다.
- [0033] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 예외가 있지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0034] 각 단계들에 있어 식별부호는 설명의 편의를 위하여 사용되는 것으로 식별부호는 각 단계들의 순서를 설명하는 것이 아니며, 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않는 이상 명기된 순서와 다르게 실시될 수 있다.
- [0035] 이하 첨부된 도면들을 참고하여 본 발명의 작용 원리 및 실시예들에 대해 설명한다.
- [0036] 도 1은 일 실시예에 따른 초음파 진단 장치의 외관도이다.
- [0037] 도 1을 참조하면, 초음파 진단 장치(1)는 대상체에 초음파를 송신하고 대상체로부터 초음파 에코 신호를 수신하여 전기적 신호로 변환하는 초음파 프로브(P)와, 초음파 프로브(P)와 연결되며 입력부(540) 및 표시부(550)를 갖추고 초음파 영상을 표시하는 본체(M)를 포함한다.
- [0038] 초음파 프로브(P)는 케이블(5)을 통해 초음파 영상장치의 본체(M)와 연결되어 초음파 프로브(P)의 제어에 필요한 각종 신호를 입력 받거나, 초음파 프로브(P)가 수신한 초음파 에코 신호에 대응되는 아날로그 신호 또는 디지털 신호를 본체(M)로 전달할 수 있다. 그러나, 초음파 프로브(P)의 실시예가 이에 한정되는 것은 아니며, 무선 프로브(wireless probe)로 구현되어 초음파 프로브(P)와 본체(M) 사이에 형성된 네트워크를 통해 신호를 주고 받는 것도 가능하다.
- [0039] 케이블(5)의 일 측 말단은 초음파 프로브(P)와 연결되고, 타 측 말단에는 본체(M)의 슬롯(7)에 결합 또는 분리 가능한 커넥터(6)가 마련될 수 있다. 본체(M)와 초음파 프로브(P)는 케이블(5)을 이용하여 제어 명령이나 데이터를 주고 받을 수 있다. 예를 들어, 사용자가 입력부(540)를 통해 초점 깊이, 어퍼처(aperture)의 크기나 형태 또는 스티어링 각도 등에 관한 정보를 입력하면, 이 정보들은 케이블(5)을 통해 초음파 프로브(P)로 전달되

어 빔포밍 장치(100)에서 사용될 수 있다.

- [0040] 또는, 전술한 바와 같이 초음파 프로브(P)가 무선 프로브로 구현되는 경우에는, 초음파 프로브(P)는 케이블(5)이 아닌 무선 네트워크를 통해 본체(M)와 연결된다. 무선 네트워크를 통해 본체(M)와 연결되는 경우에도 본체(M)와 초음파 프로브(P)는 전술한 제어 명령이나 데이터를 주고 받을 수 있다.
- [0041] 도 2는 일 실시예에 따른 초음파 진단 장치의 제어 블록도이다.
- [0042] 도 2를 참조하면, 프로브(P)는 트랜스듀서 어레이(TA), T/R스위치(10) 및 빔포밍 장치(100)를 포함할 수 있고, 본체(M)는 제어부(500), 영상처리부(530), 입력부(540) 및 표시부(550)를 포함할 수 있다.
- [0043] 본체(M)의 구성에 대해 먼저 살펴보면, 제어부(500)는 초음파 진단장치(1)의 전반적인 동작을 제어할 수 있다. 구체적으로, 제어부(500)는 T/R스위치(10), 빔포밍 장치(100), 영상처리부(530) 및 표시부(550) 등을 제어할 수 있다.
- [0044] 제어부(500)는 트랜스듀서 어레이(TA)를 이루는 복수의 초음파 트랜스듀서 엘리먼트(e)들에 대한 지연 프로파일(delay profile)을 산출하고, 산출된 지연 프로파일에 기초하여 복수의 초음파 트랜스듀서 엘리먼트(e)와 대상체의 집속점(focal point)의 거리 차에 따른 시간 지연값을 산출할 수 있다. 이러한 연산은 초음파 프로브(P)의 빔포밍 장치(100)에서 수행될 수도 있다.
- [0045] 영상처리부(530)는 빔포밍 장치(100)를 통해 집속된 초음파 신호에 기초하여 대상체 내부의 목표 부위에 대한 초음파 영상을 생성한다. 구체적으로 영상 처리부(530)는 집속된 초음파 신호에 기초하여 대상체 내부의 목표 부위에 대한 코히런트(coherent) 2차원 영상 또는 3차원 영상을 생성할 수 있다.
- [0046] 또한, 영상 처리부(530)는 코히런트 영상 정보를 B-모드나 도플러 모드 등의 진단 모드에 따른 초음파 영상 정보로 변환할 수 있다. 예를 들면, 진단 모드가 B-모드로 설정되어 있는 경우, 영상 처리부(530)는 A/D 변환 처리 등의 처리를 행하고 B-모드 영상용의 초음파 영상 정보를 실시간으로 작성할 수 있다.
- [0047] 촬영 모드가 D-모드(도플러 모드)로 설정되어 있는 경우, 영상 처리부(530)는 초음파 신호로부터 위상 변화 정보를 추출하고, 속도, 파워, 분산과 같은 촬영 단면의 각 점에 대응하는 혈류 등의 정보를 산출하고 D-모드 영상용의 초음파 영상 정보를 실시간으로 작성할 수 있다.
- [0048] 입력부(540)는 사용자의 지시 또는 명령을 입력 받을 수 있고, 제어부(500)는 사용자가 입력한 명령에 따라 초음파 진단 장치(1)를 제어할 수 있다. 사용자는 입력부(540)를 통해 초음파 진단 시작 명령, A-모드(Amplitude mode), B-모드(Brightness mode), 컬러 모드(Color mode), D-모드(Doppler mode) 및 M-모드(Motion mode) 등의 진단 모드 선택 명령, 관심영역(region of interest; ROI)의 크기 및 위치를 포함하는 관심영역(ROI) 설정 정보 등을 입력하거나 설정할 수 있다.
- [0049] 입력부(540)는 키보드, 마우스, 트랙볼(trackball), 태블릿(tablet) 또는 터치스크린 모듈 등과 같이 사용자가 데이터, 지시나 명령을 입력할 수 있는 다양한 수단을 포함할 수 있다.
- [0050] 표시부(550)는 초음파 진단에 필요한 메뉴나 안내 사항 및 초음파 진단 과정에서 획득한 초음파 영상 등을 표시할 수 있다. 표시부(550)는 영상처리부(530)에서 생성된 대상체 내부의 목표 부위에 대한 초음파 영상을 표시할 수 있다. 표시부(550)에 표시되는 초음파 영상은 A-모드의 초음파 영상이나 B-모드의 초음파 영상일 수도 있고, 3차원 입체 초음파 영상일 수도 있다. 표시부(550)는 브라운관(Cathode Ray Tube; CRT), 액정 표시 장치(Liquid Crystal Display; LCD) 등 공지된 다양한 디스플레이 방식으로 구현될 수 있다.
- [0051] 초음파 진단 장치(1)는 상술한 구성 이외에 다른 구성을 포함할 수도 있다.
- [0052] 초음파 프로브(P)의 구성에 관해 살펴보면, 트랜스듀서 어레이(TA)는 초음파 프로브(P)의 단부에 마련된다. 초음파 트랜스듀서 어레이(TA)는 복수의 초음파 트랜스듀서 엘리먼트(element)를 배열(array)상으로 배치한 것을 의미한다.
- [0053] 초음파 트랜스듀서 어레이(TA)는 초음파 트랜스듀서 어레이(TA)에 인가되는 펄스 신호 또는 교류 전류에 의해 진동하면서 초음파를 생성한다. 생성된 초음파는 대상체 내부의 목표 부위로 송신된다. 이 경우 초음파 트랜스듀서 어레이(TA)에서 생성된 초음파는 대상체 내부의 복수의 목표 부위를 초점으로 하여 송신될 수도 있다. 즉, 생성된 초음파는 복수의 목표 부위로 멀티 포커싱(multi-focusing)되어 송신될 수도 있다.
- [0054] 초음파 트랜스듀서 어레이(TA)에서 발생된 초음파는 대상체 내부의 목표 부위에서 반사되어 다시 초음파 트랜스

듀서 어레이(TA)로 돌아온다. 초음파 트랜스듀서 어레이(TA)는 목표 부위에서 반사되어 돌아오는 초음파 에코 신호를 수신한다. 초음파 에코 신호가 도달하면 초음파 트랜스듀서 어레이(TA)는 초음파 에코 신호의 주파수에 상응하는 소정의 주파수로 진동하면서, 진동 주파수에 상응하는 주파수의 교류 전류를 출력한다. 이에 따라 초음파 트랜스듀서 어레이(TA)는 수신한 초음파 에코 신호를 소정의 전기적 신호로 변환할 수 있게 된다.

[0055] 각각의 엘리먼트(element)는 초음파 에코 신호를 수신하여 전기적 신호를 출력하므로, 초음파 트랜스듀서 어레이(TA)는 복수 채널의 전기적 신호를 출력할 수 있다. 채널의 개수는 초음파 트랜스듀서 어레이(TA)를 이루는 초음파 트랜스듀서 엘리먼트(e)의 개수와 동일하게 마련되는 것이 바람직하다.

[0056] 초음파 트랜스듀서 엘리먼트(e)는 압전 진동자나 박막을 포함할 수 있다. 압전 진동자나 박막은 전원으로부터 교류 전류가 인가되면, 인가되는 교류 전류에 따라 소정의 주파수로 진동하고, 진동하는 주파수에 따라 소정 주파수의 초음파를 생성한다. 반대로 압전 진동자나 박막은 소정 주파수의 에코 초음파가 압전 진동자나 박막에 도달하면, 에코 초음파에 따라 진동하여, 진동 주파수에 대응하는 주파수의 교류 전류를 출력한다.

[0057] 초음파 트랜스듀서는 자성체의 자왜효과를 이용하는 자왜 초음파 트랜스듀서(Magnetostrictive Ultrasonic Transducer), 압전 물질의 압전 효과를 이용한 압전 초음파 트랜스듀서(Piezoelectric Ultrasonic Transducer) 및 미세 가공된 수백 또는 수천 개의 박막의 진동을 이용하여 초음파를 송수신하는 정전용량형 미세가공 초음파 트랜스듀서(Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer; cMUT) 중 어느 하나로 구현될 수 있다. 이외에도, 전기적 신호에 따라 초음파를 생성하거나 또는 초음파에 따라 전기적 신호를 생성할 수 있는 다른 종류의 트랜스듀서들 역시 초음파 트랜스듀서의 일례가 될 수 있다.

[0058] 빔포밍 장치(100)는 트랜스듀서 어레이(TA)에 송신펄스를 인가하여 트랜스듀서 어레이(TA)로 하여금 대상체 내 목표 부위로 초음파 신호를 송신하도록 한다. 또한, 빔포밍 장치(100)는 트랜스듀서 어레이(TA)에서 수신한 초음파 에코신호에 대한 소정의 처리를 수행하고 수신 빔포밍을 수행한다. 또한, 빔포밍 장치(100)는 본체(M)에 포함되어 빔포밍을 수행할 수도 있다.

[0059] 구체적으로, 초음파 신호를 이용하여 이미지를 얻는데 있어서, 이미지의 해상도를 높이기 위해 빔포밍(Beamforming) 기술이 적용된다. 빔포밍(Beamforming)에는 복수의 트랜스듀서 엘리먼트(element)로부터 송신되는 초음파 신호에 적절한 시간 지연(time delay)을 주어 하나의 집속점에 동시에 집속시키는 송신 빔포밍과 집속점으로부터 반사되어 트랜스듀서 엘리먼트로 돌아오는 초음파 에코신호에 시간 지연을 적용하고 동일한 시간에 합산하는 수신 빔포밍이 포함된다.

[0060] 일반적으로, 기저대역(Baseband) 기반 I/Q(In-phase/Quadrature) 빔포머는 빔포밍 시 표본화된 값을 이용하여 시간 지연을 적용할 수 있다. 또한, I/Q 빔포머는 위상 지연을 보상하기 위한 위상 회전부를 포함한다. 이 때, 표본화로 인해 발생하는 시간 지연 오차(또는 진폭 오차)와 위상 양자화 수준(Level)에 따라 발생하는 위상 지연 오차가 존재할 수 있다. 즉, 집속점(영상점)에서 반사된 초음파 에코신호를 복원하기 위해서는 시간 지연과 위상 지연을 보상해주어야 한다.

[0061] 이와 관련하여, 종래기술은 위상 지연을 양자화된 값이 아닌 이상적인 값으로 계산하여 보상하거나, 표본화 주파수의 보간(Interpolation) 배율에 해당하는 시간 지연 해상도(Time delay resolution)와 위상 양자화 수준(phase quantization level)에 해당하는 위상 해상도(phase resolution)를 같은 수준으로 적용하여 위상 지연을 보상하고 있었다.

[0062] 그러나 위상 지연을 이상적인 값으로 계산하여 보상할 경우 위상 지연을 연산하는데 필요한 자원이 늘어나게 되고, 그에 따라 하드웨어 복잡도가 증가하게 되는 문제점이 있다. 그리고 시간 지연 해상도와 위상 해상도를 같은 수준으로 적용하는 것은 위상 해상도가 채널 수보다 작은 값일 때에만 가능하다는 문제점이 있다. 본 발명은 이러한 문제점을 해결하고자 한다.

[0063] 빔포밍 장치(100)에서 수행되는 일련의 처리 및 빔포밍은 이하에서 도 3 내지 도 5에서 구체적으로 설명된다.

[0064] 도 3은 수신 빔포밍 시에 적용되는 수신 신호의 시간 지연을 나타낸 도면이다.

[0065] 빔포밍 장치(100)가 송신 빔포밍을 수행함으로써 집속점(영상점)에 동일한 위상의 초음파가 도달하게 되면, 집속점으로부터 초음파 에코신호가 발생하여 다시 트랜스듀서 어레이(TA)로 돌아가게 된다.

[0066] 집속점으로부터 초음파 에코신호를 수신할 때, 트랜스듀서 엘리먼트마다 집속점과의 거리가 다르기 때문에 초음파 에코신호가 도달하는 시간이 각각 달라진다. 구체적으로, 집속점과 가장 가까운 엘리먼트에 초음파 에코신호

가 가장 먼저 도달하고, 집속점과 가장 먼 엘리먼트에 초음파 에코신호가 가장 늦게 도달한다.

- [0067] 초음파 에코신호의 크기는 매우 작기 때문에 각각의 엘리먼트에서 수신한 단일 신호만으로는 필요한 정보를 얻기 어렵다. 따라서 수신 빔포밍은 각각의 엘리먼트에 도달한 수신 신호들에 적절한 지연 시간을 주어 같은 시간에 합산함으로써 신호 대 잡음비를 향상시킨다.
- [0068] 도 4는 일 실시예에 따른 빔포밍 장치의 제어 블록도이다.
- [0069] 도 4를 참조하면, 빔포밍 장치(100)는 신호 처리부(200) 및 빔포머(300)를 포함한다. 트랜스듀서 어레이(TA)에서 변환된 전기신호는 신호 처리부(200)로 입력된다. 신호 처리부(200)는 초음파 에코신호가 변환된 전기신호에 대해 신호 처리나 시간 지연 처리를 하기 전에 신호를 증폭시키고, 이득(gain)을 조절하거나 깊이에 따른 감쇠를 보상할 수 있다.
- [0070] 신호 처리부(200)는 초음파 트랜스듀서 어레이(TA)로부터 입력된 전기신호에 대하여 잡음을 감소시키는 저잡음 증폭기(low noise amplifier; LNA) 및 입력되는 신호에 따라 이득(gain) 값을 제어하는 가변 이득 증폭기(variable gain amplifier; VGA)를 포함할 수 있다. 가변 이득 증폭기는 집속점과의 거리에 따른 이득을 보상하는 TGC(Time Gain compensation)가 될 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 또한, 신호 처리부(200)는 빔포머(300) 후단에 배치될 수도 있다.
- [0071] 빔포머(300)는 신호 처리부(200)로부터 입력되는 전기적 신호에 대해 빔포밍(beamforming)을 수행한다. 빔포머(300)는 신호 처리부(200)로부터 입력되는 전기적 신호를 중첩(superposition)시키는 방식을 통해 신호의 세기를 강하게 한다.
- [0072] 빔포머(300)에서 빔포밍된 신호는 아날로그-디지털 변환기를 거쳐 디지털 신호로 변환되어 본체(M)의 영상처리부(530)로 전송된다. 아날로그-디지털 변환기가 본체(M)에 마련되는 경우, 빔포머(300)에서 빔포밍된 아날로그 신호를 본체(M)로 전송하여 본체(M)에서 디지털 신호로 변환될 수도 있다. 또는, 빔포머(300)가 디지털 빔포밍일 수도 있다.
- [0073] 디지털 빔포머의 경우 아날로그 신호를 샘플링하여 저장할 수 있는 저장부와, 샘플링 주기를 제어할 수 있는 샘플링 주기 제어부와 샘플의 크기를 조절할 수 있는 증폭기와, 샘플링 전 얼라이어링(aliasing)을 방지하기 위한 안티 얼라이어링 저역 통과 필터(anti-aliasing low pass filter)와, 원하는 주파수 대역을 선택할 수 있는 대역 통과 필터(bandpass filter)와, 빔포밍 시의 샘플링 레이트를 증가시킬 수 있는 인터폴레이션 필터(interpolation filter)와, DC성분 또는 저주파 대역의 신호를 제거할 수 있는 고역 통과 필터(high-pass filter) 등을 포함할 수 있다.
- [0074] 도 5는 일 실시예에 따른 빔포머를 구체적으로 나타낸 제어 블록도이다.
- [0075] 도 5를 참조하면, 빔포머(300)는 디지털 빔포머에 해당하는 것으로서, 표본화부(310), 믹서부(320), 저역 통과 필터부(330), 데시메이션부(340), 표본화 지연 보상부(350), 위상 회전부(360) 및 지연계산부(370)를 포함할 수 있다.
- [0076] 표본화부(310)는 각 채널로 수신되는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하기 위해 표본화(sampling)를 수행한다.
- [0077] 초음파 신호 빔포밍 시, 높은 해상도의 초음파 영상을 얻기 위해 통상적으로 각각의 트랜스듀서 엘리먼트에 할당하는 시간 지연값을 트랜스듀서 엘리먼트 중심주파수(f_0)의 16배로 표본화해야 하지만, ADC(Analog to Digital Converter)의 성능과 요구되는 메모리의 크기 등을 고려하여, 상대적으로 낮은 주파수로 표본화한 후 저역통과 필터부(330)에서 이를 보간(Interpolation)하는 방법이 사용된다. 예를 들면, 중심주파수의 4배에 해당하는 표본화 주파수로 신호를 표본화 하고, 이후 4배 보간을 통해 중심주파수의 16배에 해당하는 해상도를 획득할 수 있다.
- [0078] 믹서부(320)는 표본화된 신호에 중심주파수를 기준으로 하는 COS, SIN 곱셈을 수행하여 표본화된 신호를 동상(In-phase) 성분 신호와 직교(Quadrature) 성분 신호로 분리할 수 있다.
- [0079] 저역 통과 필터부(330)는 표본화된 신호를 보간한다. 저역 통과 필터부(330)는 보간 필터(Interpolation filter)를 포함하여 지연계산부(370)로부터 입력 받은 시간 지연 해상도를 기초로 표본화된 신호를 보간한다. 시간 지연 해상도(Time delay resolution)는 표본화 주파수의 보간(Interpolation) 배율에 해당하는 값을 의미한다. 즉, 시간 지연 해상도(보간 배율)만큼 샘플링 레이트(sampling rate)를 상승시킴으로써 표본화에 따른 시

간 지연 오차를 줄일 수 있다. 표본화 시간 지연을 유도하는 과정과 보간 과정은 이하 도 8 및 도 9에서 추가 설명된다.

[0080] 또한, 저역 통과 필터부(330)는 동상(In-phase) 성분 신호와 직교(Quadrature) 성분 신호에 대해 기저대역(Baseband) 외의 신호를 제거하는 필터링을 수행한다.

[0081] 즉, 표본화된 신호는 $\cos(\omega_0 nT)$, $-\sin(\omega_0 nT)$ 곱셈 및 저역 통과 필터(low pass filter)를 거치는 직교 복조(quadrature demodulation) 과정을 통해 동상(In-phase) 성분 신호와 직교(Quadrature) 성분 신호로 분리되고, 기저대역으로 이동하게 된다.

[0082] 데시메이션부(340)는 필터링된 동상 성분 신호와 직교 성분 신호에 대해 데시메이션을 수행한다. 데시메이션은 보간을 통해 증가한 데이터 양을 특정 비율로 감소시키는 것을 의미한다. 데시메이션부(340)는 에일리어싱(aliasing) 에러가 없는 범위에서 특정 비율로 데이터 양을 감소시킨다.

[0083] 표본화 지연 보상부(350)는 데시메이션된 동상 성분 신호와 직교 성분 신호에 대해, 미리 설정된 시간 지연 해상도를 기초로 표본화 시간 지연을 보상한다. 표본화 시간 지연은 영상점으로 초음파 신호가 송신된 후 영상점에서 반사된 초음파와 에코신호가 트랜스듀서 엘리먼트에 도달하는데 소요되는 총 시간을 표본화 주파수로 표본화함에 따라 발생하는 시간 지연을 의미한다. 표본화 지연 보상부(350)는 저역통과 필터부(330)에 의해 보간된 신호에 대해, 지연계산부(370)로부터 입력 받은 시간 지연 해상도를 기초로 진폭에 대한 미세 시간 지연을 보상할 수 있다.

[0084] 위상 회전부(360)는 표본화 시간 지연이 보상된 동상 성분 신호와 직교 성분 신호에 대해, 미리 설정된 위상 해상도를 기초로 위상 지연을 보상한다. 위상 해상도(phase resolution)는 위상 양자화 수준(phase quantization level)에 해당하는 값을 의미한다. 본 발명에서 시간 지연 해상도와 위상 해상도는 독립적으로 적용되고, 서로 다른 값을 가질 수 있다.

[0085] 도 6은 복소 평면에서 위상 회전을 설명하기 위한 도면이고, 도 7은 위상 회전부의 내부 구조를 나타낸 도면이다.

[0086] 도 6 및 도 7을 참조하면, 복소 평면에서의 위상 회전 과정은 아래 수학적 식 1을 통해 설명될 수 있다.

수학적 식 1

[0087]
$$(I + jQ)e^{j(\phi_0 \Delta \tau)} = (I + jQ) \cdot (\cos(\phi_0) + j \sin(\phi_0))$$

[0088]
$$= [I \cdot \cos(\phi_0) - Q \cdot \sin(\phi_0)] + j[Q \cdot \cos(\phi_0) + I \cdot \sin(\phi_0)]$$

[0089]
$$= I' + jQ'$$

[0090]
$$I' = I \cdot \cos(\phi_0) - Q \cdot \sin(\phi_0)$$

[0091]
$$Q' = Q \cdot \cos(\phi_0) + I \cdot \sin(\phi_0)$$

[0092] 한편, 위상 회전부(360)는 위상 해상도에 대응하는 위상 지연 보상값을 저장한 룩업테이블(361)을 포함할 수 있다. 위상 회전부(360)는 룩업테이블(361)에 저장된 위상 지연 보상값을 참조하여 위상 지연을 보상할 수 있다. 구체적으로, 위상 회전부(360)는 집속점으로부터 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식 및 위상 해상도를 이용하여 위상 지연 보상값을 산출하고, 산출된 위상 지연 보상값을 룩업테이블(361)에 저장할 수 있다.

[0093] 이 때, 위상 지연 보상값이 저장되는 룩업테이블(361)의 주소도 집속점으로부터 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식 및 위상 해상도를 이용하여 산출될 수 있다.

[0094] 집속점으로부터 트랜스듀서 어레이의 엘리먼트까지의 거리와 초음파 파장 간 미리 설정된 관계식은, 집속점으로부터 트랜스듀서 어레이의 중심 엘리먼트 및 임의의 다른 엘리먼트까지의 거리를 초음파 파장으로 나눈 값으로 정의되는 관계식일 수 있다. 위상 지연 보상값과 룩업테이블(361)의 주소를 산출하는 과정은 이하 도 11 및 도

12에서 구체적으로 설명된다.

[0095] 다시 도 5를 참조하면, 지연 계산부(370)는 시간 지연 해상도 및 위상 해상도를 독립적으로 산출하여 저역 통과 필터부(330), 표본화 지연 보상부(350) 및 위상 회전부(360)에 각각 인가할 수 있다. 구체적으로, 지연 계산부(370)는 진폭 에러의 평균과 위상 에러의 평균을 기초로 정의되는 에러 모델을 이용하여 시간 지연 해상도 및 위상 해상도를 서로 다른 값으로 산출할 수 있다. 시간 지연 해상도와 위상 해상도는 초음파 진단 장치(1)의 입력부(540)를 통해 사용자로부터 입력될 수도 있다.

[0096] 진폭 에러는 시간 지연 해상도에 따라 표본화된 시간 지연과 원래 신호의 시간 지연 간 오차로 인해 발생하는 초음파 신호의 크기 에러를 의미하고, 위상 에러는 위상 해상도에 따라 양자화된 위상과 원래 신호의 위상 지연 간 오차를 의미한다. 에러 모델은 진폭 에러의 평균과 위상 에러의 평균을 토대로 도출되는 기저대역 초음파 신호 에러의 평균을 의미한다. 이러한 에러 모델은 도 10에서 함께 설명된다.

[0097] 이와 같이, 본 발명은 위상 해상도를 시간 지연 해상도와 다른 값으로 설정할 수 있기 때문에, 시간 지연 해상도를 높이는데 필요한 보간기(interpolator)를 늘릴 필요 없이 위상 해상도만을 높게 설정해주어 초음파 영상의 해상도를 높일 수 있다. 즉, 위상 해상도를 높이는데 필요한 록업테이블(361)의 메모리 사이즈를 늘려주는 것만으로 빔포밍 성능을 향상시킬 수 있기 때문에, 하드웨어 복잡도를 줄일 수 있고, 발열량과 전력 소모량도 줄일 수 있게 된다.

[0098] 도 8은 초음파 신호의 송수신 거리 모형을 나타낸 도면이고, 도 9은 시간 지연을 표본화하는 것을 설명하기 위한 도면이다.

[0099] 도 8을 참조하면, 먼저, 초음파 신호는 아래 수학식 2와 같이 정의될 수 있다.

수학식 2

$$f(t) = a(t)\cos(\omega_0 t)$$

[0101] 도 8에서, 중심 엘리먼트를 기준으로 초음파 신호를 송신한 후, 임의의 영상점에서 초음파가 반사되어 i번째 엘리먼트로 수신된 초음파 신호는 아래 수학식 3과 같이 정의될 수 있다.

수학식 3

$$x_i(t) = a(t - \tau_i(r_k))\cos(\omega_0(t - \tau_i(r_k)))$$

[0103] 이때 $\tau_i(r)$ 는 초음파 신호가 r_k 만큼의 거리에 있는 영상점으로부터 반사되어 i번째 엘리먼트에 수신되기까지 소요된 총 시간을 뜻하며, 아래 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$\tau_i(r_k) = \frac{r_k + r_{ik}}{c}, \quad r_{ik} = r_k + \Delta_{ik}$$

[0105] c는 인체의 조직 안으로 전달되는 초음파 신호의 진행속도(평균 1540 m/s)를 나타낸다.

[0106] 영상점까지의 거리를 표본화 간격 $cT_D/2$ 로 나타내면, k번째 영상 점으로부터 중심 엘리먼트까지의 거리 r_k 와 i번째 엘리먼트까지의 거리 r_{ik} 는 아래 수학식 5와 같다.

수학식 5

$$r_k = k \cdot \frac{cT_D}{2} = k \cdot \frac{cLT}{2}, \quad r_{ik} = k \cdot \frac{cLT}{2} + \Delta_{ik}$$

T는 표본화 간격(Sampling period)을 L배 만큼 보간한 표본화 간격($T=T_0/L$)이다. 보간 배율 L은 시간 지연 해상도로 정의될 수 있다. 도 10에서 시간 지연 해상도는 p로 표시된다.

Δ_{ik} 는 표본화 간격에 해당하는 잔여 거리($m_{ik} \cdot T \cdot c$)와 미세 지연 시간 간격에 해당하는 잔여 거리($\delta_{ik} \cdot c$)의 합을 의미한다.

따라서 표본화된 총 지연 시간 $\tau_{ik}(r_k)$ 는 아래 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$\tau_{ik}(r_k) = \frac{r_k + r_{ik}}{c} = (kL + m_{ik})T + \delta_{ik} \quad (k, L, m_{ik} \text{는 정수})$$

도 9는 L배만큼 보간된 표본화 간격으로 시간 지연이 표본화된 것을 보여준다.

또한, $\tau_{ik}(r_k)$ 를 반영한 초음파 수신 신호는 아래 수학식 7과 같이 쓸 수 있다.

수학식 7

$$x_{ik}(t) = a(t - kLT - m_{ik}T - \delta_{ik}) \cos(\omega_0(t - kLT - m_{ik}T - \delta_{ik}))$$

표본화된 초음파 수신 신호는 동상(in-phase) 성분 신호와 직교(quadrature) 성분 신호로 분리될 수 있다. 즉, 표본화된 초음파 수신 신호에 각각 cos과 -sin을 곱하여 저역 통과 필터(low pass filter)를 거치는 직교 복조(quadrature demodulation) 과정을 통해서 동상 성분(in-phase) 데이터와 직교 성분(quadrature) 데이터가 분리된다.

동상 성분(in-phase) 신호 $i_i(nT)$ 와 직교 성분(quadrature) 신호 $q_i(nT)$ 를 시간 지표(nT)로 나타내면 아래 수학식 8과 같다.

수학식 8

$$i_i(nT) = x_{ik}(nT) \cos(\omega_0 nT)|_{LPF} = a(nT - \tau_{ik}(r_k)) \cos(\omega_0 \tau_{ik}(r_k))$$

$$q_i(nT) = -x_{ik}(nT) \sin(\omega_0 nT)|_{LPF} = -a(nT - \tau_{ik}(r_k)) \sin(\omega_0 \tau_{ik}(r_k))$$

동상 성분 신호와 직교 성분 신호를 분석 신호(analytic signal)로 표현하면 아래 수학식 9와 같고, 이를 기저대역(baseband) 신호라고 한다.

수학식 9

$$z_i(nT) = i_i(nT) + jq_i(nT) = a(nT - \tau_{ik}) \exp(j\omega_0 \tau_{ik})$$

[0120]

[0121] 여기서, 영상점에서 반사된 초음파 신호 $a(0)$ 를 복원하기 위해서는 시간 지연 τ_{ik} 와 위상 지연 $\exp(j\omega_0 \tau_{ik})$ 를 보상해주어야 한다. 시간 지연은 τ_{ik}/T 에 가장 가까운 자연수에 해당하는 샘플(n)을 가져옴으로써 보상될 수 있고, 위상 지연은 $\exp(-j\omega_0 \tau_{ik})$ 와 가장 가까운 양자화된 위상 값을 해당 샘플에 곱함으로써 보상될 수 있다.

[0122]

다만, 시간 지연과 위상 지연은 모두 표본화된 값으로 보상되므로, 표본화 오차에 따른 진폭 에러와 위상 에러가 발생하게 된다. 진폭 에러는 시간 지연 해상도를 높임으로써 보상 가능하고, 위상 에러는 위상 해상도를 높임으로써 보상 가능하다. 그러나 시간 지연 해상도를 높이기 위해서는 보간기(interpolator)를 추가해야 하므로, 메모리 크기를 늘림으로써 해결할 수 있는 위상 해상도 향상에 비해 하드웨어 복잡도가 크게 늘어나는 문제점이 있다.

[0123]

따라서 본 발명은 시간 지연 해상도와 위상 해상도를 독립적으로 설정하고, 위상 해상도를 시간 지연 해상도에 비해 높게 설정함으로써, 빔포밍 성능을 향상시킴과 동시에 하드웨어 복잡도를 줄이고자 한다.

[0124]

도 10은 시간 지연 해상도와 위상 해상도에 따른 평균 에러를 도시한 그래프이다.

[0125]

도 10에 도시된 그래프는 진폭 에러의 평균과 위상 에러의 평균을 기초로 도출되는 기저대역 신호의 에러 평균을 나타낸다. 본 발명은 기저대역 신호의 에러 평균을 에러 모델로 정의하고, 에러 모델을 이용하여 하드웨어 복잡도를 야기하지 않으면서 빔포밍 성능을 향상시킬 수 있는 최적의 시간 지연 해상도 및 위상 해상도를 산출할 수 있다.

[0126]

구체적으로, 도 10에서 시간 지연 해상도 p가 16, 위상 해상도 q가 16일 때와 시간 지연 해상도 p가 4.7, 위상 해상도 q가 64일 때 기저대역 신호의 에러가 0.8로 동일한 것을 알 수 있다. 따라서 시간 지연 해상도를 5로 줄이고 위상 해상도를 64로 설정하면, 보간기 수를 줄이면서 록업테이블(361)의 메모리 사이즈를 2 비트 늘려주는 것만으로 동일한 성능을 얻을 수 있게 된다. 이 경우 시간 지연 해상도가 16일 때와 비교하여 하드웨어 복잡도가 줄어들고, 발열량과 전력소모량도 줄일 수 있다.

[0127]

에러 모델을 도출하는 과정은 아래와 같다.

[0128]

먼저, 수학식 9에 나타난 표본화된 기저대역 신호의 시간 지표 nT 를 $\hat{\tau}_{ik}$ 로 표현하고, $\omega_0 \tau_{ik}$ 를 Φ 로 표현하면 기저대역 신호 s_{iq} 와 시간 지연 에러 δ_t 는 아래 수학식 10과 같이 쓸 수 있다.

수학식 10

$$s_{iq} = a(\hat{\tau}_{ik} - \tau_{ik}) \exp(j\Phi), \quad \Phi = \omega_0 \tau_{ik}$$

[0129]

$$\delta_t = \hat{\tau}_{ik} - \tau_{ik} \quad (-T/2 \leq \delta_t < T/2)$$

[0130]

위 수학식 10에서 $\exp(j\Phi)$ 는 기저대역(baseband) 신호의 위상 성분이므로 시간에 대해 독립적이다. 따라서 위상 해상도 q로 양자화된 $\exp(-j\Phi_q)$ 를 곱해주어 위상 성분을 보상하면, 위상 지연이 보상된 기저대역 신호와 위상 에러 δ_p 는 아래 수학식 11과 같다.

[0131]

수학식 11

$$[0132] \quad s_{iq} = a(\widehat{\tau}_{ik} - \tau_{ik}) \exp(j(\Phi - \Phi_q))$$

$$[0133] \quad \delta_p = \Phi - \Phi_q \quad (-\pi/q \leq \delta_p < \pi/q)$$

[0134] 시간 지연 에러 δ_t 와 위상 에러 δ_p 가 모두 없을 때의 기저대역 신호의 값은 $a(0) = 1$ 이다. 시간 지연 에러와 위상 에러가 각각 독립적으로 작용하고, 기저대역 신호의 진폭 $a(t)$ 는 Gaussian 함수의 형태를 나타내며, 시간 지연 에러 δ_t 와 위상 에러 δ_p 가 각각 균일한 분포를 가진다고 가정하면, 표본화에 의한 기저대역 신호의 에러 ε_{IQ} 는 아래 수학식 12와 같다.

수학식 12

$$[0135] \quad \varepsilon_{IQ} = 1 - a(\delta_t) \exp(j\delta_p)$$

$$[0136] \quad a(\delta_t) = \exp(-\frac{\delta_t^2}{t_0^2})$$

[0137] 또한, 진폭 에러의 평균 $\overline{\varepsilon_{env}}$, 위상 에러의 평균 $\overline{\varepsilon_p}$ 및 기저대역 신호 에러의 평균 $\overline{\varepsilon_{IQ}}$ 는 아래 수학식 13과 같이 표기될 수 있다.

수학식 13

$$[0138] \quad \overline{\varepsilon_{env}} = E[\varepsilon_{env}(t)] = 1 - \sqrt{\pi}t_0 \exp(-\pi^2 f^2 t_0^2) * \text{sinc}(fT) \big|_{f=0}$$

$$[0139] \quad \overline{\varepsilon_p} = 1 - \text{sinc}\left(\frac{1}{q}\right)$$

$$[0140] \quad \overline{\varepsilon_{IQ}} = 1 - (1 - \overline{\varepsilon_{env}}) \cdot (1 - \overline{\varepsilon_p})$$

[0141] 도 11 및 도 12는 룩업테이블을 구성하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0142] 도 11 및 도 12를 참조하여 위상 지연 보상값과 위상 지연 보상값이 저장되는 룩업테이블(361)의 주소를 산출하는 방법에 대해 설명한다.

[0143] 위상 양자화 수준인 위상 해상도가 M이고, 룩업테이블(361)의 어드레싱(addressing)에 요구되는 비트 수가 Q 비트라고 하면, M과 Q는 $M = 2^Q$ 관계를 갖는다. 예를 들면, 위상 해상도 M이 64이면, 요구되는 룩업테이블(361)의 메모리 비트 수는 6bit이 된다.

[0144] 위상 지연 보상값과 위상 지연 보상값이 저장되는 룩업테이블(361)의 주소는, 도 8에 도시된 k번째 영상점으로부터 중심 엘리먼트까지의 거리 r_k 와 i 번째 엘리먼트까지의 거리 r_{ik} 를 초음파의 파장으로 나눈 값 d_{ik} 을 이용하여 산출될 수 있다. 즉, d_{ik} 는 아래 수학식 14와 같다.

수학식 14

$$d_{\lambda} = (r_k + r_{ik})/\lambda = d_{ik} / \lambda$$

위상 지연 보상을 위해 수학식 9의 기저대역 신호에 곱해주어야 할 $\exp(-j\omega_0 \tau_{ik})$ 를 d_{λ} 을 이용하여 다시 표기하면 아래 수학식 15와 같다.

수학식 15

$$\exp\left(-j\omega_0 \frac{d_{ik}}{c}\right) = \exp(-j2\pi d_{\lambda}) = \exp\left(-j2\pi \cdot (\lfloor d_{\lambda} \rfloor + \text{frac}(d_{\lambda}))\right)$$

$$= \exp(j2\pi \cdot \text{frac}(d_{\lambda}))$$

여기서 $\text{frac}(d_{\lambda})$ 은 d_{λ} 의 소수 값이고 $\lfloor d_{\lambda} \rfloor$ 는 정수 값이므로, $\exp(j2\pi \cdot (\lfloor d_{\lambda} \rfloor)) = 1$ 이 되어 소수 항만 남게 된다. 따라서 d_{λ} 의 소수 값을 참조하여 위상 회전이 수행될 수 있다.

위상 해상도가 M일 때, 양자화된 위상 ϕ_q 는 아래 수학식 16과 같이 정리될 수 있다.

$$\phi_q = 2\pi \cdot \frac{1}{M} [M \cdot \text{frac}(d_{\lambda}) + 0.5] = 2\pi \cdot \frac{m}{M} \quad m = 0, 1, \dots, M-1$$

도 11과 같이, d_{λ} 의 소수 부분에서 Q+1번째 비트(bit)를 Q 비트와 더하여 룩업테이블(361)의 주소가 산출될 수 있다. 산출된 룩업테이블(361)의 주소에는 도 12와 같이 $\cos(\phi_q), \sin(\phi_q)$ 값이 저장된다.

이와 같이, 본 발명은 위상 지연 보상을 위한 이상적인 위상 값을 계산하지 않고, 룩업테이블(361)에 저장된 양자화된 위상 값을 이용하여 위상 회전을 수행함으로써 연산과정을 간소화 하고, 하드웨어 복잡도를 줄일 수 있다.

도 13은 종래기술과 본 발명에 따라 출력된 빔포밍 영상을 비교하는 도면이다.

도 13의 (a)는 종래기술에 따라 출력된 빔포밍 영상이고, (b)는 본 발명에 따라 출력된 빔포밍 영상이다.

종래기술은 시간 지연 해상도와 위상 해상도를 같은 수준인 16으로 적용함에 따라 (a)와 같은 영상(Point spread function)을 출력한다. 반면에 본 발명은 위상 해상도를 독립적으로 설정할 수 있고, 시간 지연 해상도보다 높은 해상도로 설정함에 따라 (b)와 같은 영상을 출력한다. 즉, 본 발명은 위상 해상도를 높게 설정함으로써 사이드 로브(side lobe)가 적은 영상을 획득할 수 있음을 확인할 수 있다.

도 14는 일 실시예에 따른 빔포밍 방법의 순서도이다.

먼저, 도 5에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 빔포밍 장치(100)에 포함된 빔포머(300)는 표본화부(310), 믹서부(320), 저역 통과 필터부(330), 데시메이션부(340), 표본화 지연 보상부(350), 위상 회전부(360) 및 지연계산부(370)를 포함할 수 있다.

도 14를 참조하면, 빔포밍 장치(100)는 영상점(집속점)으로부터 반사되어 트랜스듀서 어레이로 수신된 초음파 신호를 표본화한다(S901). 빔포밍 장치(100)는 표본화된 신호를 동상(Inphase) 성분 신호와 직교(Quadrature)

성분 신호로 분리한다(S902). 빔포밍 장치(100)는 시간 지연 해상도 및 위상 해상도를 각각 산출하고(S903), 동상 성분 신호와 직교 성분 신호에 대해 미리 설정된 대역으로 필터링을 수행하여 초음파 신호를 기저대역으로 이동시킨다(S904). 빔포밍 장치(100)는 필터링된 동상 성분 신호와 직교 성분 신호에 대해 데시메이션을 수행한다(S905). 또한, 빔포밍 장치(100)는 데시메이션된 동상 성분 신호와 직교 성분 신호에 대해, 시간 지연 해상도를 기초로 표본화 시간 지연을 보상한다(S906). 이후, 표본화 시간 지연이 보상된 동상 성분 신호와 직교 성분 신호에 대해, 위상 해상도를 기초로 위상 지연을 보상한다(S907).

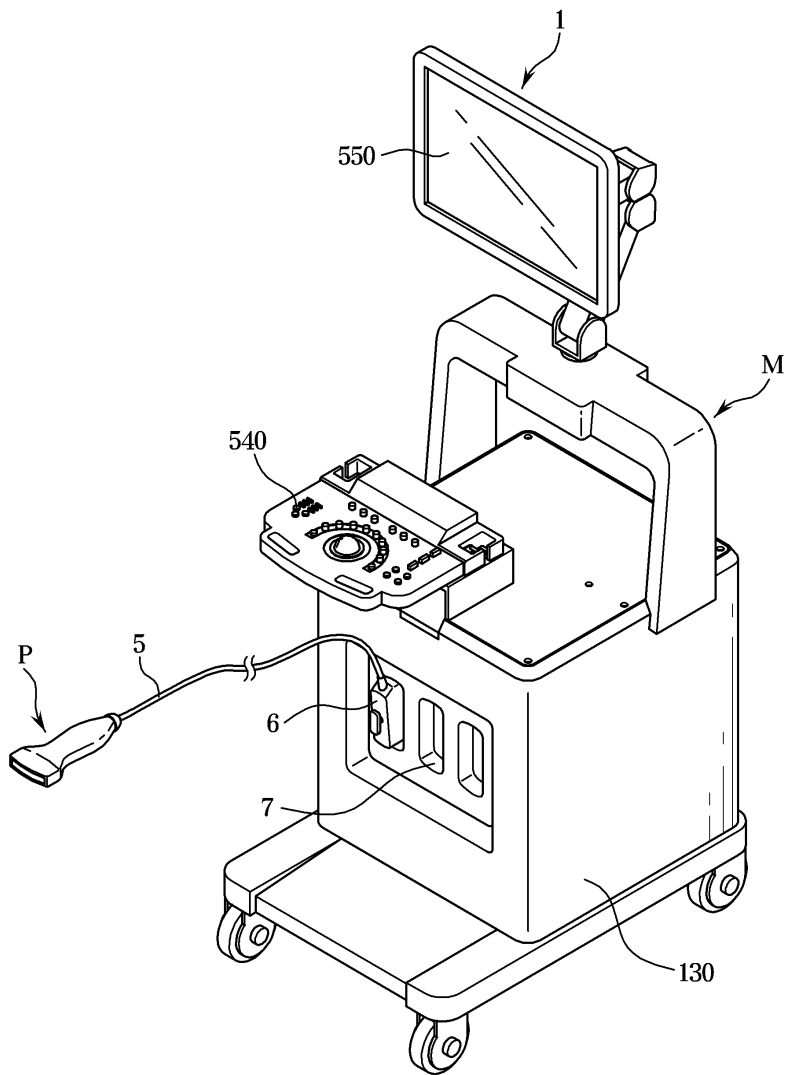
- [0160] 상술한 바와 같이, 본 발명은 위상 해상도를 시간 지연 해상도와 다른 값으로 설정할 수 있기 때문에, 시간 지연 해상도를 높이는데 필요한 보간기를 늘릴 필요 없이 위상 해상도만을 높게 설정해주어 초음파 영상의 해상도를 높일 수 있다. 즉, 위상 해상도를 높이는데 필요한 룩업테이블(361)의 메모리 사이즈를 늘려주는 것만으로 빔포밍 성능을 향상시킬 수 있기 때문에, 하드웨어 복잡도를 줄일 수 있고, 발열량과 전력 소모량도 줄일 수 있게 된다.
- [0161] 또한, 본 발명은 위상 지연 보상을 위한 이상적인 위상 값을 계산하지 않고, 룩업테이블(361)에 저장된 양자화된 위상 값을 이용하여 위상 회전을 수행함으로써 연산과정을 간소화할 수 있다.
- [0162] 한편, 개시된 실시예들은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 저장하는 기록매체의 형태로 구현될 수 있다. 명령어는 프로그램 코드의 형태로 저장될 수 있으며, 프로세서에 의해 실행되었을 때, 프로그램 모듈을 생성하여 개시된 실시예들의 동작을 수행할 수 있다. 기록매체는 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체로 구현될 수 있다.
- [0163] 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체로는 컴퓨터에 의하여 해독될 수 있는 명령어가 저장된 모든 종류의 기록 매체를 포함한다. 예를 들어, ROM(Read Only Memory), RAM(Random Access Memory), 자기 테이프, 자기 디스크, 플래쉬 메모리, 광 데이터 저장장치 등이 있을 수 있다.
- [0164] 이상에서와 같이 첨부된 도면을 참조하여 개시된 실시예들을 설명하였다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고도, 개시된 실시예들과 다른 형태로 본 발명이 실시될 수 있음을 이해할 것이다. 개시된 실시예들은 예시적인 것이며, 한정적으로 해석되어서는 안 된다.

부호의 설명

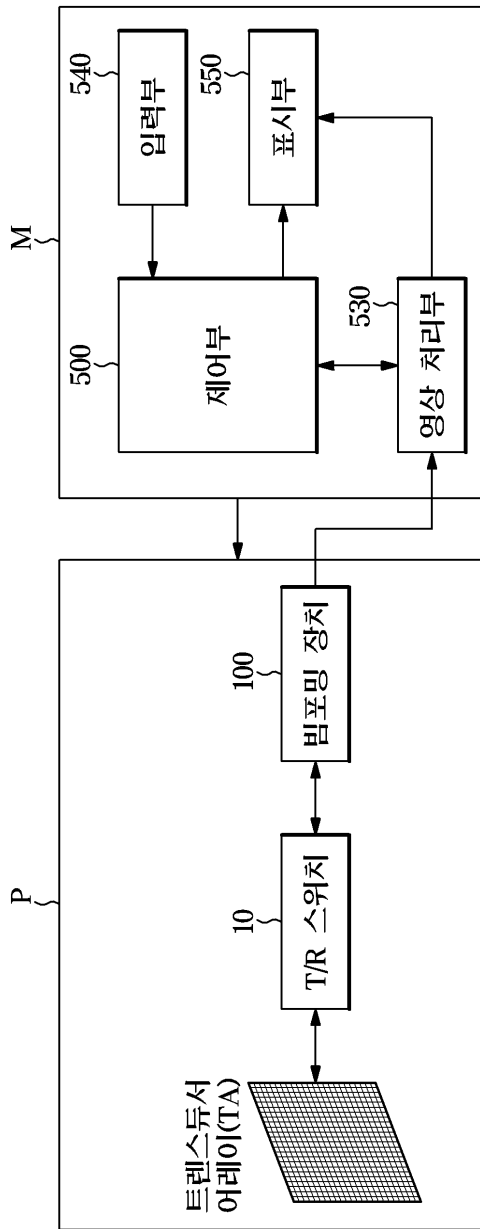
- [0165] 1: 초음파 영상 장치
- P: 프로브
- M: 본체
- 10: T/R스위치
- 100: 빔포밍장치
- 500: 제어부
- 530: 영상처리부
- 540: 입력부
- 550: 표시부

도면

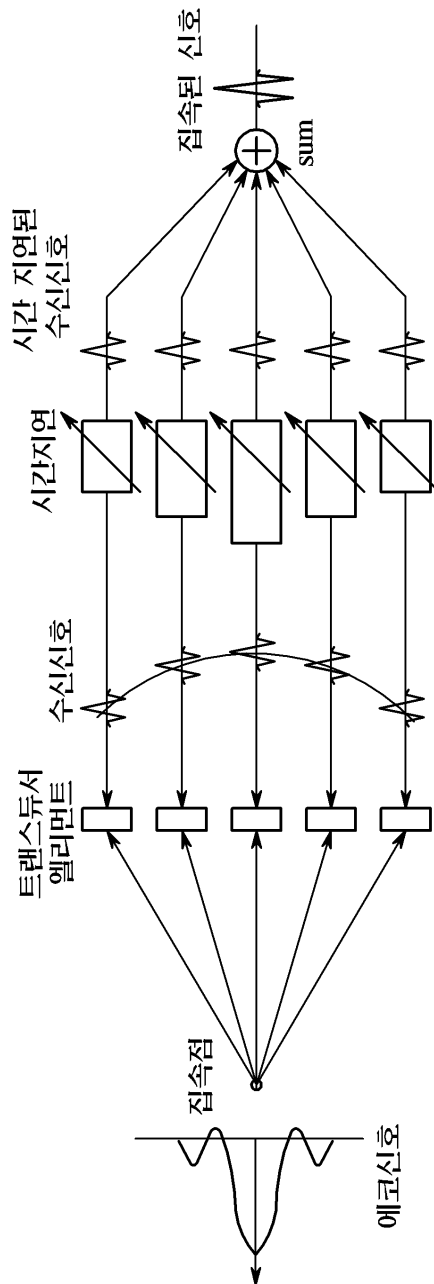
도면1



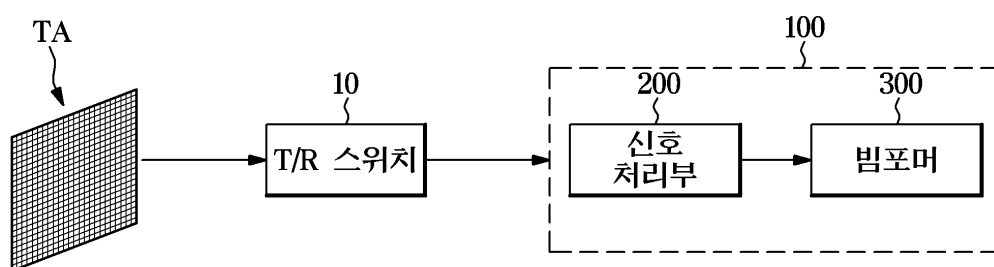
도면2



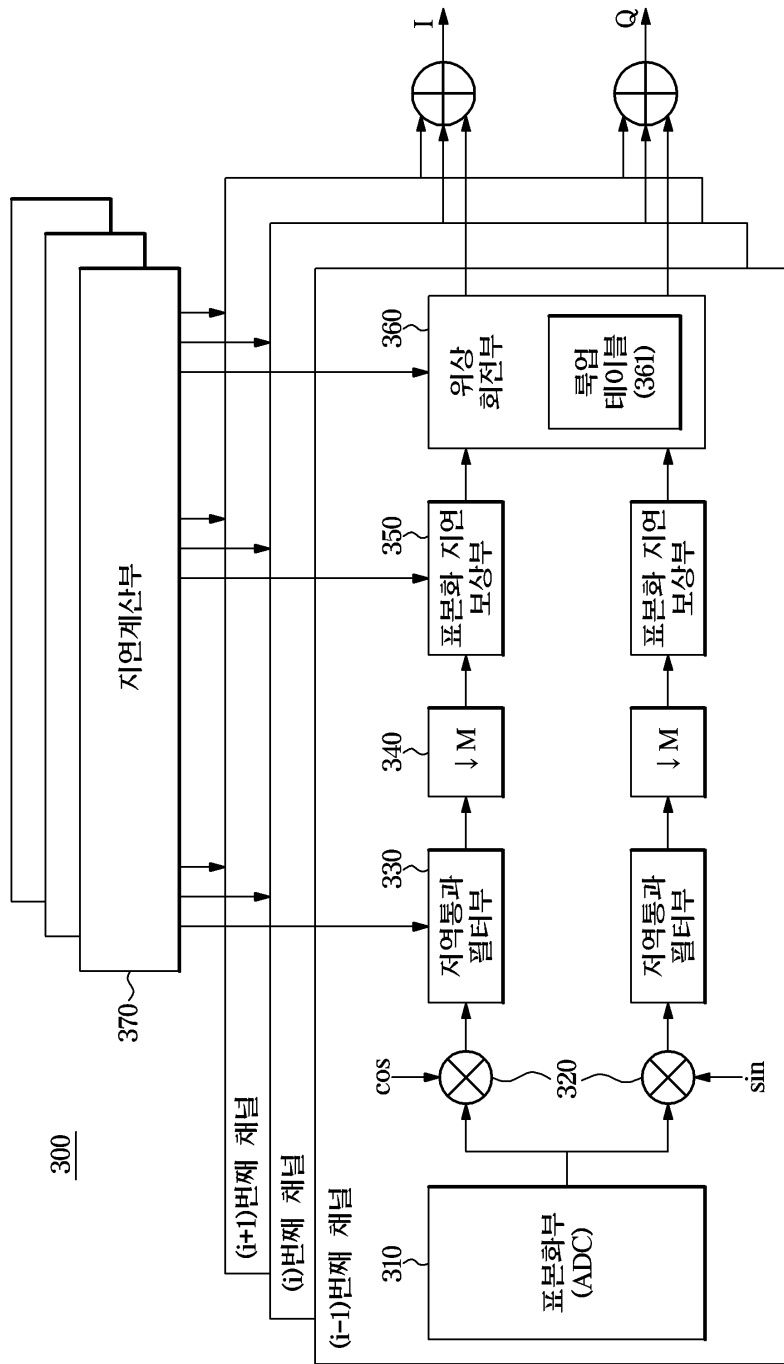
도면3



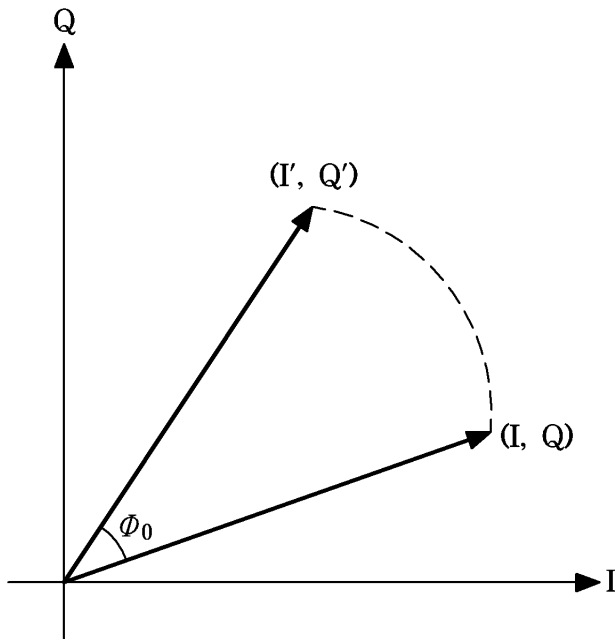
도면4



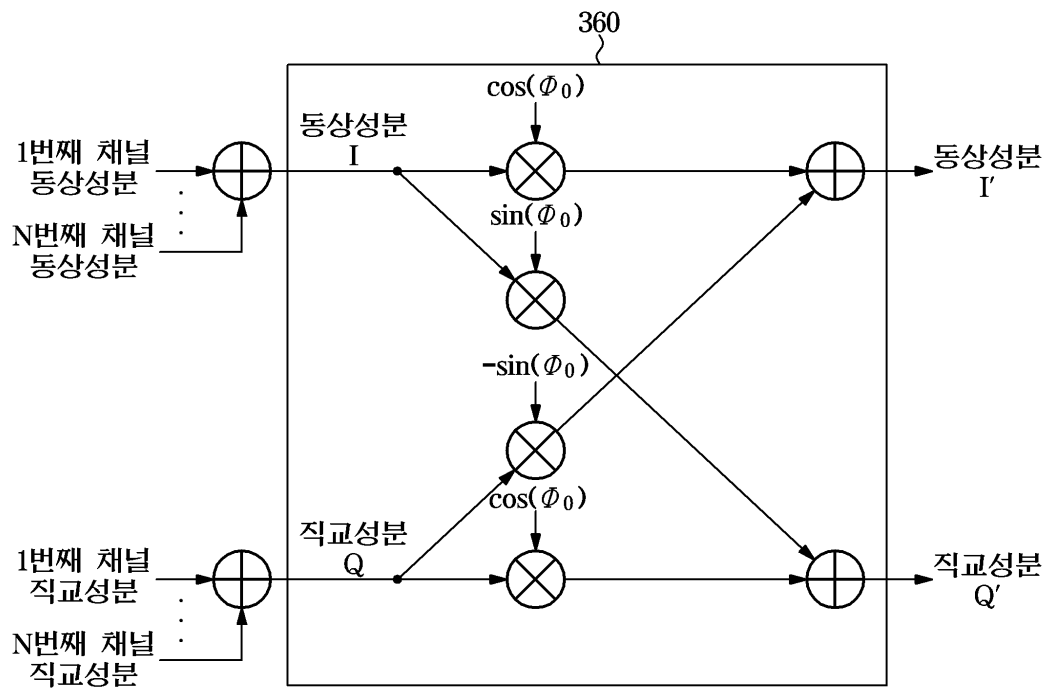
도면5



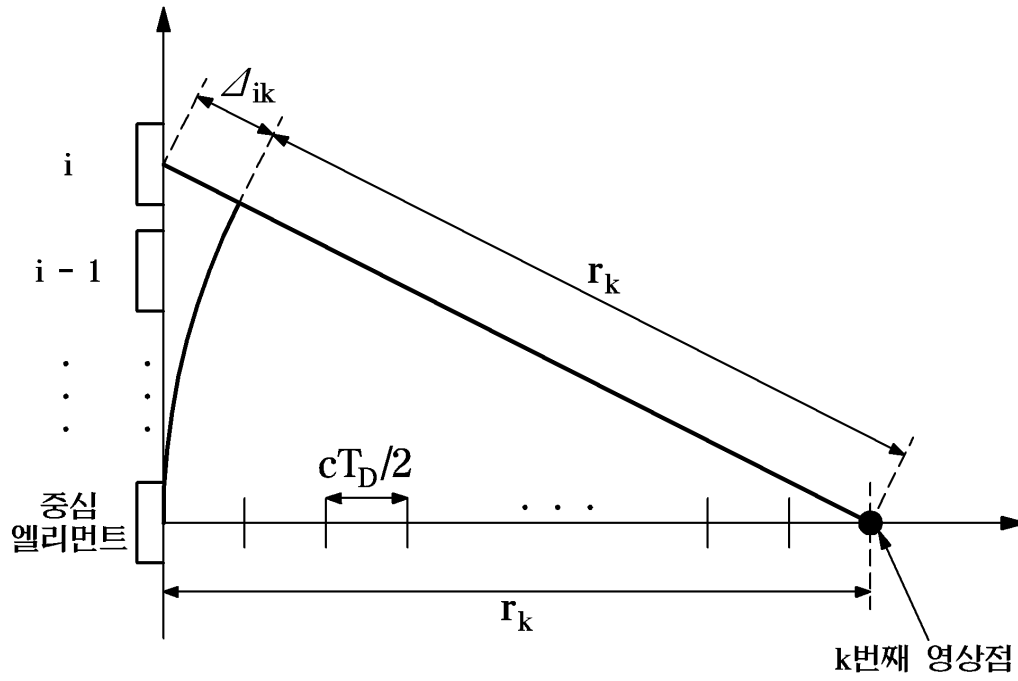
도면6



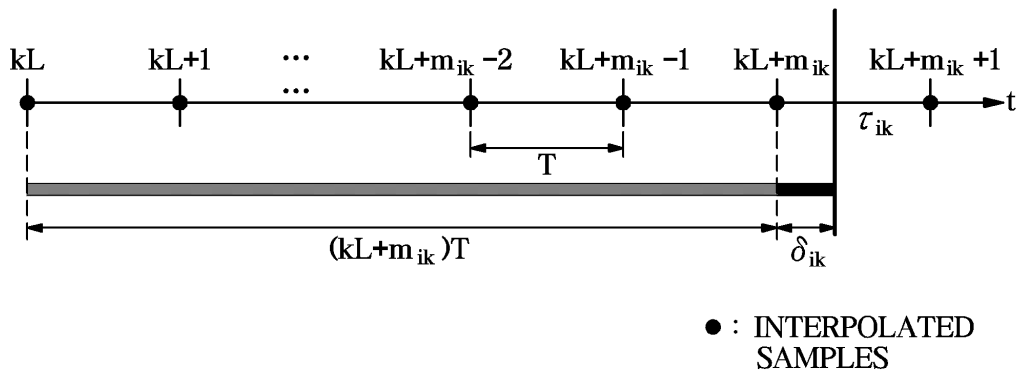
도면7



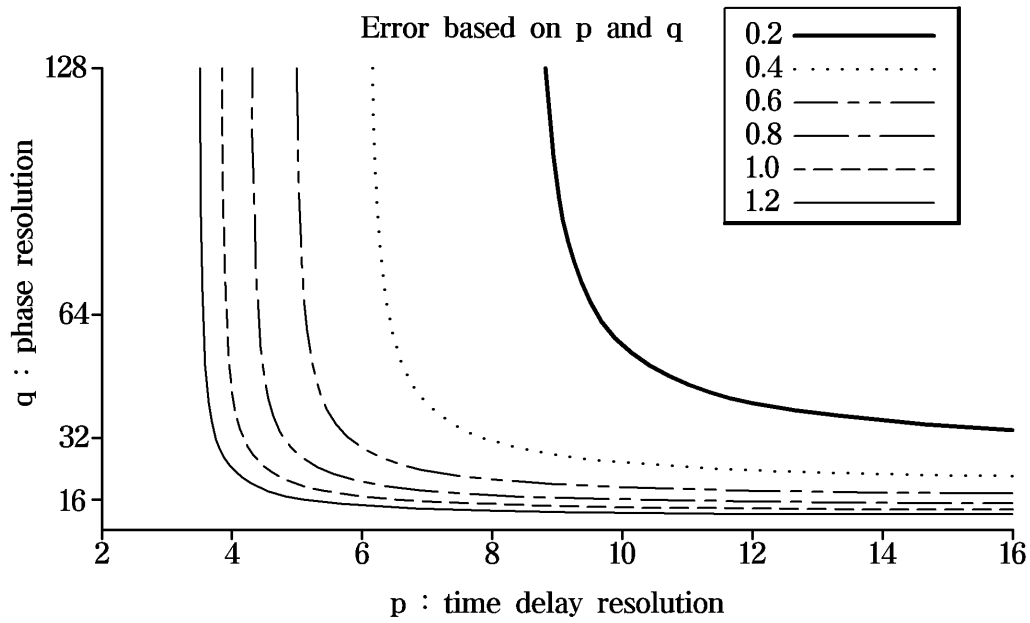
도면8



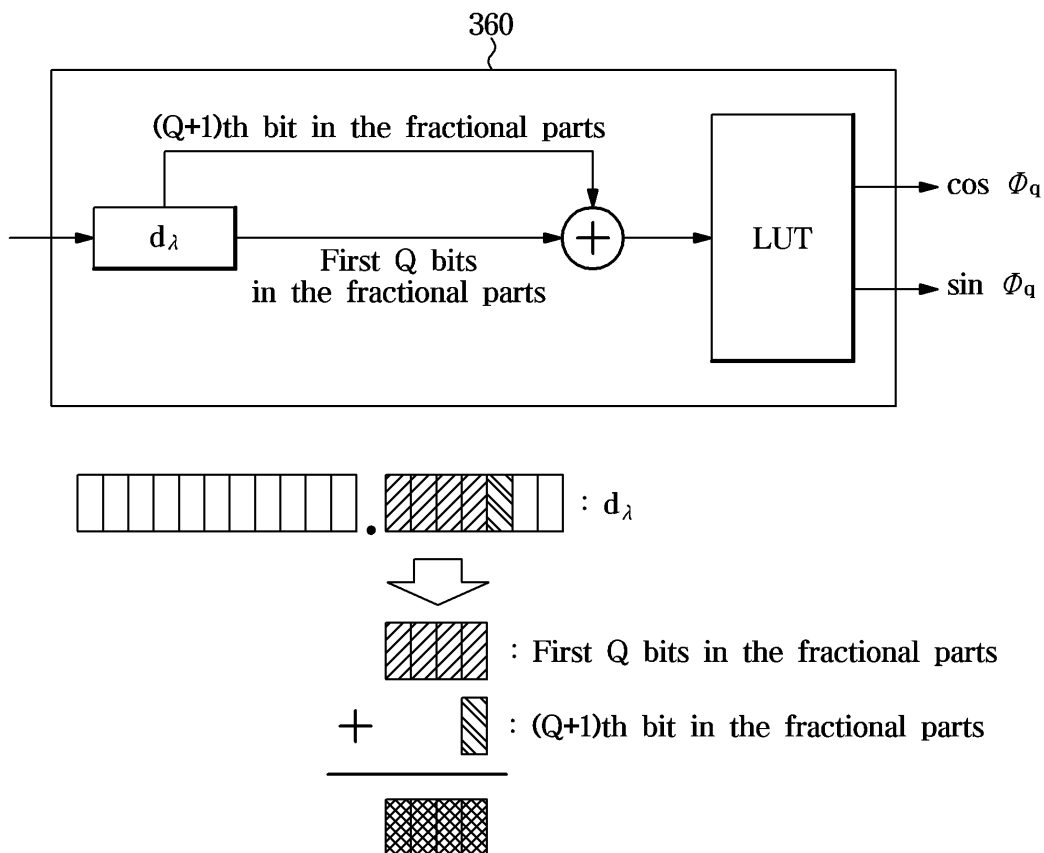
도면9



도면10



도면11



도면12

Ex)

If $Q = 4$ bits ($M = 2^4$),

$d_\lambda = 101011.00110111$

→ address = 0011

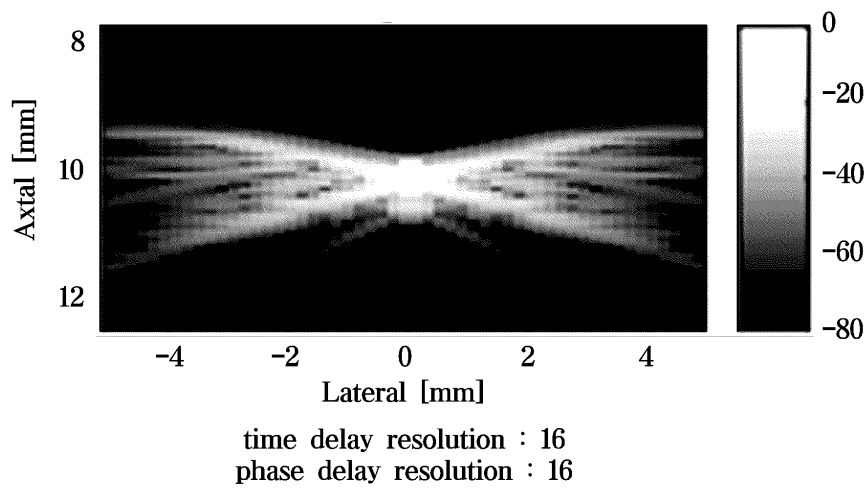
$d_\lambda = 101011.01101111$

→ address = 0111

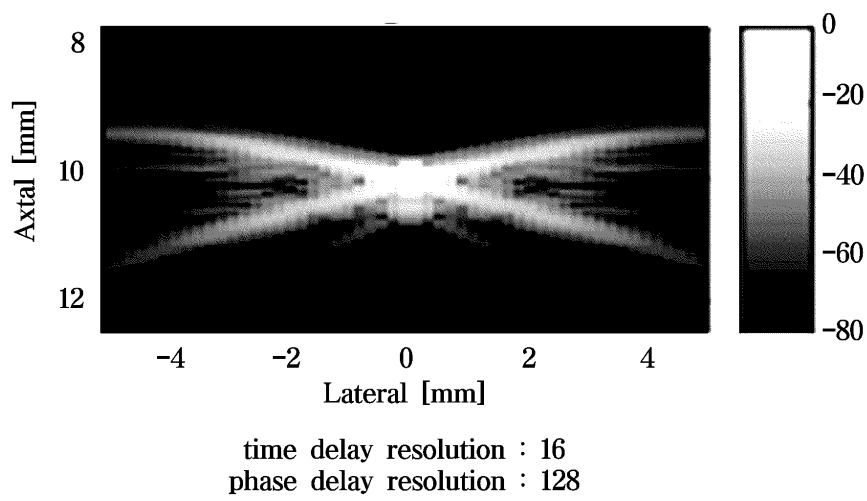
360

add	LUT	
0000	$\cos(2\pi(0/16))$	$\sin(2\pi(0/16))$
0001	$\cos(2\pi(1/16))$	$\sin(2\pi(1/16))$
0010	$\cos(2\pi(2/16))$	$\sin(2\pi(2/16))$
0011	$\cos(2\pi(3/16))$	$\sin(2\pi(3/16))$
⋮		
0111	$\cos(2\pi(7/16))$	$\sin(2\pi(7/16))$
⋮		
1111	$\cos(2\pi(15/16))$	$\sin(2\pi(15/16))$
	↑	↑
	$\cos(2\pi(m/M))$	$\sin(2\pi(m/M))$

도면13



(a)



(b)

도면14

