



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년10월19일
(11) 등록번호 10-0922180
(24) 등록일자 2009년10월09일

(51) Int. Cl.

A61B 8/00 (2006.01) H01L 41/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0042514

(22) 출원일자 2008년05월07일

심사청구일자 2008년05월07일

(56) 선행기술조사문헌

논문1

논문2

US20070035204 A1

JP2000325343 A

(73) 특허권자

서강대학교산학협력단

서울 마포구 신수동 1-1 서강대학교

(72) 발명자

송대경

서울특별시 서초구 잠원동 66-3 동아아파트 105동 1403호

김기덕

인천광역시 부평구 부평6동 604-39 목련연립 라-102호

(74) 대리인

이지연

전체 청구항 수 : 총 10 항

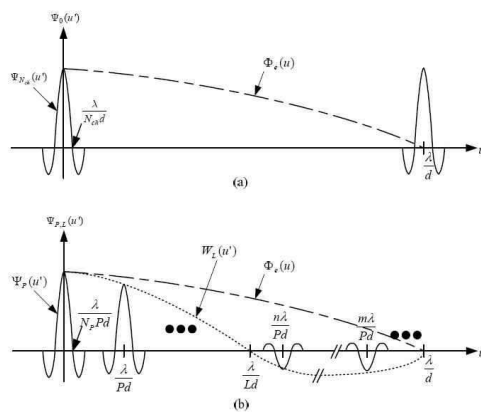
심사관 : 박성호

(54) 초음파 영상 시스템의 주기 회박 어레이의 최적 설계 방법

(57) 요약

본 발명은 초음파 영상 시스템의 주기 회박 어레이의 최적 설계 방법에 관한 것이다. 상기 주기 회박 어레이의 최적 설계 방법은, 송신 회박 어레이와 수신 회박 어레이에 공통 그레이팅 로브가 발생하지 않도록 송신 회박 어레이의 그룹소자개수(P_T)와 사용소자개수(L_T), 수신 회박 어레이의 그룹소자개수(P_R)와 사용소자개수(L_R)를 설정한다. 이러한 조건을 만족하는 경우는 (M1) P_T 와 P_R 이 서로 소인 정수인 경우, (M2) 임의의 P_T 와 P_R 이 $P_T > P_R$ 이고 $L_T = P_R$ 인 경우, (M3) P_T 와 P_R 이 서로 소의 정수가 아니고, $P_T \neq P_R$ 인 경우에 대하여 L_T 또는 L_R 이 P_T 와 P_R 의 최대 공약수인 경우가 있다. 전술한 방법에 의하여 공통 그레이팅 로브가 발생하지 않는 주기 회박 어레이 쌍이 복수 개가 존재하는 경우, 구경의 크기, 회박 인자(SF: Sparsity Factor)와 빔 교차상쇄(DBC: Destructive Beam Cross-Interference)의 세가지 변수 중 2가지 조건만 주어지면 원하는 최적의 주기 회박 어레이의 쌍을 결정할 수 있다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

전체 N개의 소자로 구성되는 어레이 변환자를 갖는 초음파 영상 시스템에서의 주기 회박 어레이 최적 설계 방법에 있어서,

(a) 송신 회박 어레이와 수신 회박 어레이의 빔 패턴에서 공통 그레이팅 로브(Common Grating Lobe)가 발생되지 않는 송신 회박 어레이의 주기(P_T)와 사용소자개수(L_T)를 설정하는 단계;

(b) 송신 회박 어레이와 수신 회박 어레이의 빔 패턴에서 공통 그레이팅 로브(Common Grating Lobe)가 발생되지 않는 수신 회박 어레이의 주기(P_R)와 사용소자개수(L_R)를 설정하는 단계;

를 구비하는 것을 특징으로 하는 주기 회박 어레이 최적 설계 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, (a) 단계 및 (b) 단계에서, 상기 송신 회박 어레이의 주기(P_T)와 수신회박어레이의 주기(P_R)는 같지 아니하며, 상기 P_T 와 P_R 은 서로 소인 정수가 되도록, 송신 회박 어레이의 P_T 와 L_T 및 수신 회박 어레이의 P_R 과 L_R 을 설정하는 것을 특징으로 하는 주기 회박 어레이 최적 설계 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, (a) 단계 및 (b) 단계에서, 상기 송신 회박 어레이의 주기(P_T)와 수신회박어레이의 주기(P_R)는 같지 아니하며, $P_T > P_R$ 이며, $L_T = P_R$ 이 만족되도록, 송신 회박 어레이의 P_T 와 L_T 및 수신 회박 어레이의 P_R 과 L_R 을 설정하는 것을 특징으로 하는 주기 회박 어레이 최적 설계 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, (a) 단계 및 (b) 단계에서, 상기 송신 회박 어레이의 주기(P_T)와 수신회박어레이의 주기(P_R)는 같지 아니하며, P_T 와 P_R 이 서로 소가 아니고, L_T 또는 L_R 이 P_T 와 P_R 의 최대 공약수가 되도록, 송신 회박 어레이의 P_T 와 L_T 및 수신 회박 어레이의 P_R 과 L_R 을 설정하는 것을 특징으로 하는 주기 회박 어레이 최적 설계 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, (c) 송신 회박 어레이 및 수신 회박 어레이에 대한 회박 인자(SF)를 계산하고, 상기 회박 인자를 이용하여 빔 교차 상쇄(DBC)의 최소값을 결정하는 단계;를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 주기 회박 어레이 최적 설계 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, (d) 상기 (a) 및 (b) 단계에서 설정된 송신 회박 어레이의 (P_T, L_T) 및 수신 회박 어레이의 (P_R, L_R)의 쌍이 복수 개인 경우, 각 쌍에 대한 회박 인자(SF) 및 상기 회박 인자를 이용한 빔 교차 상쇄(DBC)의 최소값을 계산하고, 상기 회박 인자 및 빔 교차상쇄의 최소값을 이용하여 상기 송신 회박 어레이의 (P_T, L_T) 및 수신 회박 어레이의 (P_R, L_R)의 쌍을 결정하는 단계;를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 주기 회박 어레이 최적 설계 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 (d)단계에 있어서, 만약 상기 회박 인자 및 빔 교차상쇄의 최소값이 동일하면, 송신 및 수신 그레이팅 로브의 총 개수에 따라 송신 회박 어레이의 (P_T, L_T) 및 수신 회박 어레이의 (P_R, L_R)을 최종 결정하는 것을 특징으로 하는 주기 회박 어레이 최적 설계 방법.

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 (d) 단계에 있어서, 만약 상기 회박 인자들이 동일하면, 각 쌍에 대하여 송신 회박 인자와 수신 회박 인자의 차이값을 계산하고, 상기 차이값이 가장 작은 송신 회박 어레이의 (P_T, L_T) 및 수신 회박 어레이의 (P_R, L_R)을 최종 결정하는 것을 특징으로 하는 주기 회박 어레이 최적 설계 방법.

청구항 9

제5항 또는 제6항에 있어서, 상기 회박 인자는 수학식 11에 의해 결정되는 것을 특징으로 하는 주기 회박 어레이 최적 설계 방법.

수학식 11

$$SF = SF_T - SF_R = \frac{P_T}{L_T} - \frac{P_R}{L_R}$$

청구항 10

제5항 또는 제6항에 있어서, 상기 빔 교차상쇄의 최소값은 $\lambda / (SF \cdot d)$ 인 것을 특징으로 하는 주기 회박 어레이 최적 설계 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

<1> 본 발명은 초음파 영상 시스템에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로는 초음파 영상 시스템의 주기 회박 어레이의 최적 설계 방법에 관한 것이다.

배경기술

<2> 초음파 영상 장치는 초음파 변환자(piezoelectric transducer)를 이용하여 전기 신호를 초음파로 바꾸어 송신하고, 관찰하고자 하는 물체로부터 반사되어 돌아오는 초음파 신호를 수신하여 전기 신호로 변환한 후 이를 신호 처리하여 영상으로 사용자에게 전달한다. 초음파 영상의 가장 기본이 되는 B-모드 영상은 인체 내부의 단면에 대한 임상적 정보를 나타내는 것으로, 해상도(resolution), 신호대 잡음비(signal-to-noise ratio), 프레임율(frame rate) 등의 성능에 따라 화질이 좌우 된다.

<3> 초음파 변환자로서 배열 소자로 구성된 어레이 변환자(array transducers)를 사용하는 현재의 초음파 시스템에서는 송신 신호의 파장에 따라 배열 소자간의 거리를 결정한 후, 원하는 구경의 크기에 맞춰 사용되는 배열 소자의 개수, 즉 채널수(channel number)를 결정한다. 그리고, 각 채널에 전기적인 가변 시간 지연을 적용하여 원하는 영상점에 집중하게 된다.

<4> 본 명세서에서는 전술한 바와 같이 구경의 크기 내에 있는 모든 배열 소자를 사용하는 일반적인 경우를 FSA(fully sampled array)라고 칭한다. FSA를 사용하는 일반적인 초음파 시스템은 더 높은 해상도를 얻기 위해 구경의 크기, 즉 채널수를 늘리고 동적 집중과 같은 고성능의 집중 기법을 사용하고 있다. 여기서, 각각의 채널은 초음파 송수신 회로 및 집중을 위한 시간 지연 계산기 등으로 구성되므로, 초음파 시스템의 하드웨어의 복잡도는 채널수에 비례하여 증가하게 된다. 일반적으로 사용되는 2차원 단면 영상을 제공하기 위한 1차원 어레이 변환자는 현재 64~256채널에서 점점 증가하는 추세이며, 3차원 입체 영상을 제공하기 위한 2차원 어레이 변환자를 측방향으로 64개의 채널, 고도방향으로 64개의 채널로 구성하는 경우 총 4096개의 채널이 필요하여 64채널을 사용하는 1차원 어레이 변환자의 경우보다 하드웨어의 크기가 64배 증가하게 된다.

<5> 이러한 문제를 해결하기 위해 하드웨어의 복잡도를 줄이기 위한 다양한 방법들이 제안되었으며, 그 중에서 회박 어레이(sparse array) 기법은 제한된 채널수로 큰 구경을 사용한 것과 같은 효과를 얻을 수 있기 때문에 중요한 연구 대상 중 하나이다.

<6> 회박 어레이 기법이란, 영상이 요구하는 구경내에서 일부 배열 소자만을 사용하여 소자의 위치를 희박하게 분포 시킴으로써, 측방향 해상도의 저하를 최소화 하면서 채널수를 줄이는 방법으로서, 주어진 채널수에 대하여 효과적으로 구경의 크기를 증대시키기 위한 방법으로 사용된다. 이 경우 일반적인 동적 수신집속을 사용할 수 있기

때문에 확장구경 및 합성구경 기법과는 달리 움직임 결함 및 추가적인 하드웨어가 필요하지 않다는 장점이 있다. 하지만, 회박 어레이 기법에서는 실제 사용하는 배열 소자간의 거리가 증가하게 되어 원하지 않는 그레이팅 로브(grating lobe)가 발생하게 된다. 따라서, 회박 어레이를 설계함에 있어서 가장 중요한 고려사항은 주어진 설계 조건하에서 그레이팅 로브가 발생하지 않도록 하거나, 최소한의 그레이팅 로브만 발생하도록 억제하는 방법을 찾는 것이다.

- <7> 이러한 회박 어레이의 설계 방법은 크게 두가지로 분류될 수 있다. 첫째는 배열 소자를 구경내에서 규칙적으로 분포시키는 주기 회박 어레이(periodic sparse array)이다. 이 경우 회박 어레이의 설계는 매우 간단하고 배열 소자가 분포하는 주기에 비례하여 채널수를 줄일 수 있는 장점이 있지만, 사용되는 배열 소자간의 거리가 주기에 비례하여 증가하므로 그레이팅 로브의 발생을 피할 수 없다.
- <8> 둘째는 사용되는 배열 소자를 불규칙적으로 분포시켜 그레이팅 로브를 억제하는 랜덤 회박 어레이(random sparse array) 기법이다. 그러나, 랜덤 회박 어레이 기법은 그레이팅 로브는 감소하지만 측엽(side lobe)의 평균 크기가 실제 사용되는 소자의 개수에 반비례하는 관계를 갖는다고 알려져 있다. 따라서, 일정 레벨(level) 이하로 측엽의 크기를 제한하기 위해서는 실제 송수신에 사용되는 소자의 개수를 어느 이상으로 유지하지 않으면 안되는 문제가 발생하여 채널수의 감소 효과가 저하되는 한계가 있다.
- <9> 한편, 주기 회박 어레이 기법의 대안으로 송신 회박 어레이와 수신 회박 어레이를 서로 다른 주기로 분포시킨 버니어 어레이(vernier array) 기법이 제안되었다. 버니어 어레이 기법에서는 송신 빔 패턴(beam pattern)과 수신 빔 패턴 각각이 그레이팅 로브를 발생시키지만 서로 다른 위치에 존재하도록 조정할 수 있기 때문에, 송신 및 수신 빔 패턴의 곱으로 구해지는 최종 빔 패턴의 그레이팅 로브를 요구되는 값 이하로 억제할 수 있다. 그러므로, 버니어 어레이 기법에서는 송수신 회박 어레이의 패턴이 최종 빔 패턴을 최적화시킬 수 있도록 설계되어야 한다.
- <10> 버니어 어레이의 설계 및 성능 평가는 주로 유효 구경(effective aperture) 기법에 의존하고 있다. 송신 집속점 또는 프라운호퍼(Fraunhofer) 영역에서의 단방향 빔 패턴은 구경함수(aperture function)의 푸리에 변환(Fourier transform)으로 표현될 수 있으며, 최종 빔 패턴은 송신 빔 패턴과 수신 빔 패턴의 곱으로 얻어진다. 따라서, 송신 구경 함수와 수신 구경함수를 컨볼루션(convolution)한 함수를 유효 구경함수(effective aperture function)로 정의하면 유효 구경함수의 푸리에 변환 결과가 최종 빔 패턴이 된다. 이러한 유효 구경함수를 이용한 주기 회박 어레이의 설계 방법에서는 송신 회박 어레이의 구경함수에서 사용하지 않는 배열 소자로 인하여 비어있는 값들이 수신 회박 어레이의 구경함수와와 컨볼루션과정에서 모두 채워지도록 하여 유효 구경함수가 모든 배열 소자를 사용한 경우와 일치할 수 있는 송수신 주기 회박 어레이 쌍을 구하고 있다. 그러므로, 유효 구경 기법에서 수신 주기 회박 어레이의 구경함수는 송신 주기 회박 어레이에 대하여 보간 함수(interpolation function)의 역할을 하게 되고, 이 보간 함수의 성능에 따라 유효 구경함수의 모양, 즉 최종 빔 패턴의 성능이 좌우되기 때문에 원하는 유효 구경함수의 모양을 얻기 위한 다양한 보간 함수가 제안되었다. 그런데, 유효 구경 기법은 수학적인 빔 패턴 해석에 기반하지 않았기 때문에 임의의 송신 주기 회박 어레이에 대하여 원하는 유효 구경함수의 특성을 갖도록 하는 보간 함수, 즉 수신 주기 회박 어레이의 일반 조건을 유도할 수 없었다.
- <11> 따라서, 본 특허에서는 주기 회박 어레이에 대한 수학적인 해석을 통하여 주어진 설계 조건에서 최적의 빔 패턴을 얻을 수 있는 설계 방법을 제안한다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <12> 전술한 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은 하드웨어의 복잡성을 증가시키지 않으면서 적은 수의 채널로 원하는 크기의 구경을 사용하는 것과 동일한 효과를 달성할 수 있는 주기 회박 어레이의 최적 설계 방법을 제공하는 것이다.

과제 해결수단

- <13> 전술한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 특징은, 전체 N개의 소자로 구성되는 어레이 변환자를 갖는 초음파 영상 시스템에서의 주기 회박 어레이 최적 설계 방법에 관한 것으로서,
- <14> (a) 송신 회박 어레이와 수신 회박 어레이의 빔 패턴에서 공통 그레이팅 로브(Common Grating Lobe)가 발생되지 않는 송신 회박 어레이의 주기(P_T)와 사용소자개수(L_T)를 설정하는 단계;

- <15> (b) 송신 회박 어레이와 수신 회박 어레이의 빔 패턴에서 공통 그레이팅 로브(Common Grating Lobe)가 발생되지 않는 수신 회박 어레이의 주기(P_R)와 사용소자개수(L_R)를 설정하는 단계;를 구비한다.
- <16> 전술한 특징을 갖는 주기 회박 어레이 최적 설계 방법의 (a) 단계 및 (b) 단계에서, 상기 송신 회박 어레이의 주기(P_T)와 수신회박어레이의 주기(P_R)는 같지 아니하며, 상기 P_T 와 P_R 은 서로 소인 정수가 되도록, 송신 회박 어레이의 P_T 와 L_T 및 수신 회박 어레이의 P_R 과 L_R 을 설정하거나,
- <17> 상기 송신 회박 어레이의 주기(P_T)와 수신회박어레이의 주기(P_R)는 같지 아니하며, $P_T > P_R$ 이며, $L_T = P_R$ 이 만족되도록, 송신 회박 어레이의 P_T 와 L_T 및 수신 회박 어레이의 P_R 과 L_R 을 설정하거나,
- <18> 상기 송신 회박 어레이의 주기(P_T)와 수신회박어레이의 주기(P_R)는 같지 아니하며, P_T 와 P_R 이 서로 소가 아니고, L_T 또는 L_R 이 P_T 와 P_R 의 최대 공약수가 되도록, 송신 회박 어레이의 P_T 와 L_T 및 수신 회박 어레이의 P_R 과 L_R 을 설정하는 것이 바람직하다.
- <19> 전술한 특징을 갖는 주기 회박 어레이 최적 설계 방법은, (c) 송신 회박 어레이 및 수신 회박 어레이에 대한 회박 인자(SF)를 계산하고, 상기 회박 인자를 이용하여 빔 교차 상쇄(DBC)의 최소값을 결정하는 단계;를 더 구비하는 것이 바람직하다.
- <20> 전술한 특징을 갖는 주기 회박 어레이 최적 설계 방법의 (d) 상기 (a) 및 (b) 단계에서 설정된 송신 회박 어레이의 (P_T, L_T) 및 수신 회박 어레이의 (P_R, L_R)의 쌍이 복수 개인 경우, 각 쌍에 대한 회박 인자(SF) 및 상기 회박 인자를 이용한 빔 교차 상쇄(DBC)의 최소값을 계산하고, 상기 회박 인자 및 빔 교차상쇄의 최소값을 이용하여 상기 송신 회박 어레이의 (P_T, L_T) 및 수신 회박 어레이의 (P_R, L_R)의 쌍을 결정하는 단계;를 더 구비하고,
- <21> 만약 상기 회박 인자 및 빔 교차상쇄의 최소값이 동일하면, 송신 및 수신 그레이팅 로브의 총 개수에 따라 송신 회박 어레이의 (P_T, L_T) 및 수신 회박 어레이의 (P_R, L_R)을 최종 결정하거나,
- <22> 만약 상기 회박 인자들이 동일하면, 각 쌍에 대하여 송신 회박 인자와 수신 회박 인자의 차이값을 계산하고, 상기 차이값이 가장 작은 송신 회박 어레이의 (P_T, L_T) 및 수신 회박 어레이의 (P_R, L_R)을 최종 결정할 수 있다.

효 과

- <23> 본 발명에 따른 주기 회박 어레이의 최적 설계 방법의 성능을 검증하기 위하여 송수신 빔 패턴 및 최종 빔 패턴, 그리고 모의 시편(phantom)에 대한 영상을 컴퓨터 모의 실험을 통해 구하였다. 빔 패턴 실험은 Matlab을 이용하여 3MHz의 중심주파수를 갖는 신호를 60mm에 집속하였을 때 집속 평면에서의 연속파 빔 패턴의 결과를 로그 스케일(log scale)로 나타내었으며, 배열 소자간의 거리가 $1/2$ 이고, 64개의 배열소자로 구성된 위상 배열 변환자(phased array transducer)를 가정하였다. 결과에서 송신, 수신 및 최종 빔 패턴은 각각 점선, 쇄선 및 실선으로 나타내었다. 본 발명에서의 빔 패턴 해석은 연속파를 이용한 집속 평면 또는 프라운호퍼 영역에서의 근사화를 통해 이루어졌으나, 실험에서는 근사화를 사용하지 않은 수식을 기반으로 수행하였다. 따라서, 집속점보다 가까운 영역에서는 해석을 통해 예상한 성능보다 저하될 수 있지만, 근사화가 적용되는 영역에서 우수한 빔 패턴을 갖는 기법이 이러한 곳에서도 우수한 성능을 갖게 됨을 실험적으로 확인할 수 있었고, 모의 시편의 영상을 통해 확인할 수 있으므로, 빔 패턴 실험은 송신 집속점에 대해서만 수행하도록 한다.
- <24> 또한, 모의 시편 영상 실험은 초음파 모의 데이터 제작 프로그램인 Field II를 이용하여 구하였다. 실험 조건은 빔 패턴의 경우와 마찬가지로 64개의 배열 소자로 구성된 위상 배열 변환자에 3MHz의 중심 주파수를 갖는 송신 신호를 사용하였으며, 송신 집속점은 60mm로 가정하였다. 또한, 샘플링 주파수(sampling frequency)는 40MHz를 사용하였고, 초음파 속도는 1540m/s로 가정하였다. 이러한 조건하에서 영상의 최대 깊이를 200mm로 설정하고, 그레이팅 로브의 영향을 효과적으로 확인하기 위해 변환자의 중심에서 40° 각도로 송신 집속점의 $1/2, 1, 1.5, 2$, 그리고 3배의 거리에 점 반사체가 있는 모의 시편에 대한 영상을 구하였다. 또한, 영상의 주사각은 $-45^\circ \sim 45^\circ$ 로 하였으며, 이 각도 범위에서 128개의 주사선을 구성한 후 각 주사선마다 DC 제거(DC cancel), 포락선 검출(envelop detection), 로그 압축(log compression) 및 스캔 컨버터(scan converter)의 신호처리 과정을 거쳐 최종 영상을 구하였다. 여기서 로그 압축의 다이내믹 레인지(dynamic range)는 60dB로 하였다. 이러한 모의 시편 영상을 통하여 펄스파(PW: pulsed wave) 빔 패턴을 구할 수 있다. 따라서, 모의 시편 영상 실험은 제안한 각각의 방법들에 대한 펄스파 빔 패턴과 모의 시편 영상을 함께 나타내도록 한다.

- <25> 한편, 모의 실험의 결과를 실제 영상에서 검증하기 위해 실제 초음파 장비로부터 획득한 데이터를 기반으로 모사실험을 수행하였다. 실험 데이터는 미시건 주립대의 의공학 연구실(Biomedical Engineering Department, University of Michigan)에서 공개한 것으로, 하나의 배열 소자를 송신하고 모든 배열 소자로 수신하는 과정을 반복하여 획득한 데이터로서 임의의 채널로 송수신한 경우와 동일한 데이터로 변환할 수 있는 것이다.
- <26> 실험에 사용된 배열 변환자는 64개의 배열소자로 구성되어 있으므로, DBC의 최소값 정리를 이용하여 원하는 빔 패턴 성능을 갖기 위한 M1, M2, M3 각각의 주기 회박 어레이를 설계하였으며, 최종 빔 패턴의 그레이팅 로브가 -30dB이하로 억제되도록 설계하여 실험하였다. 따라서, DBC의 최소값이 10번째 측엽에 해당하는 거리보다 커야 하므로 회박 인자는 6이하여야만 한다.
- <27> M1의 경우, 이러한 조건을 만족하는 주기 회박 어레이 쌍은 $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (3, 1, 2, 1)$ 이 유일하다. 도 4는 M1을 만족하는 주기 회박 어레이 쌍 $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (3, 1, 2, 1)$ 에 대한 유효 구경을 도시한 그래프이다. 도 4를 참조하면, M1의 유효 구경은 구경 내의 모든 배열 소자를 사용한 것과 같은 특성을 갖는 것을 알 수 있다. 이 경우, 전체적으로 기존의 버니어 어레이의 유효 구경과 유사한 모양을 갖기 때문에 우수한 빔 패턴 성능을 가질 것으로 예상할 수 있다. 또한, 상기 설계된 주기 회박 어레이의 빔 패턴은 원하는 그레이팅 로브 억제 레벨 -30dB를 만족함을 알 수 있다.
- <28> M2의 경우, M1의 경우와 마찬가지로 최적의 주기 회박 어레이를 설계할 수 있으나, M2의 경우에는 회박 인자가 6이하인 기본형이 매우 많다. 따라서, M1의 주기 회박 어레이 쌍과 같은 P_T, P_R 을 사용하는 경우와 같은 회박 인자를 사용하는 경우의 두가지 예에 대해서만 실험 결과를 나타내기로 한다. 따라서, 각각의 경우는 $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (3, 2, 2, 1)$ 인 경우와 $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (6, 2, 2, 1)$ 인 경우가 된다. $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (3, 2, 2, 1)$ 인 경우에는 회박 인자가 3이므로 DBC의 최소값 정리에 의해 그레이팅 로브가 21번째 이후의 측엽과 곱해진다. 따라서, 모든 그레이팅 로브가 30dB이하로 억제되며, 추가적으로 $W_{L_T}(u')$ 에 의해서 TGL(1)이 약 7.7dB이상 더 억제될 것이다. 또한, $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (6, 2, 2, 1)$ 의 경우에는 역시 회박 인자가 6인 기본형이므로 모든 그레이팅 로브가 30dB이하로 억제될 수 있으며, $W_{L_T}(u')$ 에 의해서 TGL(1)이 약 1.7dB 더 억제될 것이다.
- <29> 도 5는 $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (3, 2, 2, 1)$ 인 주기 회박 어레이의 유효 구경을 도시한 그래프이며, 도 6은 $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (6, 2, 2, 1)$ 인 주기 회박 어레이의 유효 구경을 도시한 그래프이다. 도 5 및 도 6을 통해, M2의 경우 역시 모든 배열 소자를 사용하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있는 주기 회박 어레이임을 확인할 수 있다. 특히, M2의 경우에는 모든 수신 그레이팅 로브가 제거되는 대신 공통 그레이팅 로브를 제외한 모든 송신 그레이팅 로브가 존재하므로, 유효 구경은 송신 주기 PT마다 불연속점을 갖게 될 것이라고 예상할 수 있으며, 실제 유효 구경에서는 계단 함수(step function)의 계단 폭이 PT의 주기로 나타나고 있다.
- <30> 도 7은 64개의 배열 소자에 최적화된 M2의 $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (3, 2, 2, 1)$ 인 주기 회박 어레이에 대한 연속파 빔 패턴을 도시한 그래프이며, 도 8은 $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (6, 2, 2, 1)$ 인 주기 회박 어레이에 대한 연속파 빔 패턴을 도시한 그래프이다. 도 7을 통해, $W_{L_T}(u')$ 에 의한 그레이팅 로브의 추가적인 억제 효과로 인하여 모든 그레이팅 로브가 38dB 이하로 억제됨을 알 수 있다. 따라서, 동일한 P_T 와 P_R 에 대하여 회박 인자는 M1이 우수하지만, 빔 패턴 성능은 M2가 우수함을 알 수 있다. 한편, 도 8을 통해, 최대 그레이팅 로브가 30dB 정도로 비슷한 레벨을 가짐을 알 수 있는데, M1의 경우에는 모든 그레이팅 로브가 30dB 정도의 레벨을 갖는 반면, M2의 경우에는 첫번째 송신 그레이팅 로브를 제외하고는 거의 40dB정도의 레벨을 갖는다. 이는 M2에서 가중함수 $W_{L_T}(u')$ 가 공통 그레이팅 로브를 제거할 뿐만 아니라 다른 초과 그레이팅 로브를 억제하기 때문이다. 따라서, 동일한 회박 인자를 갖는 경우에서도 M2의 설계 방법이 전체적으로 더 우수한 빔 패턴을 얻을 수 있음을 알 수 있다.
- <31> M3의 경우, 회박 인자가 6이하인 기본형이 존재하지 않기 때문에, $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (6, 2, 4, 2)$ 인 확장형에 대해서 실험하였다. 이러한 경우는 회박 인자가 6으로 M1과 M2의 두번째 예와 같으며, 특히 M1의 P_T, L_T, P_R, L_R 의 각각에 $n_0 = 2$ 를 곱한 경우와 같다. DBC의 최소값 정리에 따라 최대 그레이팅 로브의 레벨은 약 24.5dB(5번째 측엽)가

되며, $W_x(u)$ 에 의해서 첫번째 송신 그레이팅 로브는 약 1.7dB정도 더 억제될 수 있다. 따라서, 최대 그레이팅 로브 레벨은 약 26dB가 되어 M1 및 M2와는 달리 원하는 성능을 만족할 수 없을 것이다.

<32> 도 9는 전술한 M3의 $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (6, 2, 4, 2)$ 인 주기 회박 어레이의 유효 구경을 도시한 그래프이며, 도 10은 연속과 빔 패턴을 도시한 그래프이다. 유효 구경 기법에 따르면 이 역시 모든 배열 소자를 사용한 것과 같은 효과를 얻을 수 있는 주기 회박 어레이지만 유효 구경함수의 모양이 M1의 경우보다 매우 불규칙한 모양을 가지고 있다. 따라서, 최종 빔 패턴의 성능은 M1의 빔 패턴보다 저하될 것으로 예상되며, 이는 해석에 의한 평가 결과와 일치한다. 도 10을 참조하면, 앞에서 설명한 바와 같이 동일한 회박 인자를 갖는 경우 기본형의 빔 패턴 성능이 더 우수할 것이라는 해석의 결과와 일치한다. 하지만, 구경의 크기가 충분히 확보되면 이 경우 역시 원하는 성능을 만족할 수 있을 것이다.

<33> 이상의 결과를 종합하면, 본 발명에 따른 최적 설계 방법에 의해 설계된 구지 회박 어레이는 유효 구경 기법에서 요구하는 최적의 빔 패턴을 갖는 조건을 모두 충족하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 본 발명에 따른 설계 방법은 임의의 주기 회박 어레이의 빔 패턴을 최적화할 수 있는 해석적인 설계 방법이라고 할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<34> 본 발명에서는 그레이팅 로브를 원하는 레벨로 억제하여 최적의 빔 패턴을 갖는 주기 회박 어레이를 설계하기 위한 수학적 해석 방법을 제안한다. 구경함수가 균일한 가중값을 갖는 균일 가중 주기 회박 어레이에서 송신 그레이팅 로브와 수신 그레이팅 로브가 일치하는 경우, 즉 공통 그레이팅 로브는 최종 빔 패턴에서 억제되지 않는다. 따라서, 본 발명에 따른 해석 방법은 임의의 균일 가중 주기 회박 어레이에서 공통 그레이팅 로브가 제거될 수 있는 주기 회박 어레이의 조건을 수학적으로 정리한 것이다. 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 주기 회박 어레이의 최적 설계 방법을 구체적으로 설명한다.

<35> 일반 모델 설정 과정

<36> 먼저, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 균일 가중 주기 회박 어레이를 해석하기 위하여 주기 회박 어레이에 대한 일반 모델을 설정한다. 도 1은 본 발명에 따른 균일 가중 주기 회박 어레이에 대한 일반 모델을 도시한 그림이다. 여기서, 실제 사용되는 소자는 빗금친 사각형으로 표시하였으며 모두 일정한 가중값을 갖는다. 또한, 이러한 송신 회박 어레이 및 수신 회박 어레이를 편의상 각각 $STA(P_T, L_T)$ 및 $SRA(P_R, L_R)$ 로 표시하도록 하며, 각각은 초음파 송신 및 수신시에 P개의 소자 구간 내에서 연속하는 L개의 소자를 사용하는 경우를 나타내고, N_p 는 P개의 소자 구간의 개수를 나타내며, 전체 구경의 크기는 $N_p \times P$ 이며, 실제 사용되는 소자의 갯수는 $N_p \times L$ 이 된다.

<37> 도 1에 따른 일반 모델에 대한 송신 집속점 또는 프라운호퍼 영역에서의 빔 패턴은 구경 함수의 푸리에 변환으로 얻어지므로 주기 P마다 1개의 배열 소자를 사용하는 경우의 빔 패턴과 L개의 연속하는 배열 소자를 사용하는 경우의 빔 패턴의 곱으로 구할 수 있다. 이 때, 주기 P마다 1개의 배열 소자를 사용하는 경우의 빔 패턴은 주엽 폭과 그레이팅 로브의 위치를 결정하고, L개의 연속하는 배열 소자를 사용하는 경우의 빔 패턴은 가중 함수로서 작용하는데, 특정한 위치에서 제로점을 갖는 특징이 있다. 이러한 해석 결과를 이용하여 본 발명에서는 공통 그레이팅 로브를 제거할 수 있는 $STA(P_T, L_T)$ 및 $SRA(P_R, L_R)$ 의 조건을 수학적으로 해석하고, 이를 기반으로 공통 그레이팅 로브가 제거된 세가지 균일 가중 주기 회박 어레이의 설계 방법을 제안한다. 제안한 설계 방법에 의한 균일 가중 주기 회박 어레이의 유효 구경함수는 모든 배열 소자를 사용한 경우와 같은 특성을 갖고 있다. 따라서, 본 발명에 따른 해석 방법은 유효 구경 기법에서 원하는 유효 구경함수를 얻기 위한 일반적인 조건을 구하는 방법이라고 할 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 설계 방법에 대한 최종 빔 패턴의 성능을 수학적으로 평가하여 정해진 구경내에서 원하는 레벨 이하로 그레이팅 로브를 억제할 수 있는 설계 조건을 함께 제안한다. 제안한 설계 기법을 이용하여 64개의 어레이 변환자에 대한 균일 가중 주기 회박 배열을 설계하고 그에 대한 빔 패턴 및 B-모드 영상 실험을 통하여 연속과 빔 패턴에서 그레이팅 로브가 30dB이하로 억제됨을 확인하였으며, B-모드 영상에서는 채널수의 감소에 따른 신호대 잡음비의 감소를 제외하고는 동등한 해상도를 갖는 우수한 영상을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

<38> 도 1에 나타난 주기 회박 어레이의 집속 평면 또는 프라운호퍼 영역에서의 측방향 빔패턴은 수학적 1과 같이 쓸 수 있다.

과 정확히 일치하게 되어 모든 초과 그레이팅 로브가 제거될 것이고, 그 결과 $\Psi_P(u')$ 는 λ/d 의 배수인 위치에
 서만 그레이팅 로브를 갖게 된다. 또한, $L \neq P$ 인 경우에서도 $q = n\lambda/Pd = m\lambda/Ld$ 에 위치하는 $\Psi_{P,L}(u')$ 의 초과 그
 레이팅 로브는 $\lim_{u' \rightarrow q} \Psi_P(u') \cdot W_L(u') = 0$ 가 되므로, 가중합수 $W_L(u')$ 에 의하여 제거될 수 있음을 알 수 있다.

<49> 송수신 회박 어레이의 설계 조건

<50> 송신 및 수신 회박 어레이의 패턴은 반드시 송신 빔 패턴과 수신 빔 패턴의 곱으로 얻어지는 최종 빔 패턴에서
 그레이팅 로브가 너무 크게 발생하지 않도록 선택되어야만 한다. 이를 위해 송신 및 수신 회박 어레이의 패턴들
 은 같은 위치에서 그레이팅 로브를 발생시키지 않도록 해야만 한다. 본 명세서에서는 송신 그레이팅 로브와 수
 신 그레이팅 로브가 같은 위치에서 발생하여 최종 빔 패턴에 가장 큰 영향을 미치는 그레이팅 로브를 '공통 그
 레이팅 로브(CGL: common grating lobe)'로 부르기로 한다. 공통 그레이팅 로브와는 달리, 송신 또는 수신 회박
 어레이의 다른 위치에 발생하는 초과 그레이팅 로브들은 수신 또는 송신 빔 패턴의 측엽에 의해서 감소될 여지
 가 있으므로, 공통 그레이팅 로브를 제거하거나 억제하면 주기 회박 어레이의 최종 빔 패턴을 최적화할 수
 있다. 따라서, 주기 회박 어레이의 설계를 최적화시키기 위하여 필요한 2가지의 조건들을 설명한다. 본 명세서
 에서는 편의상 송신 및 수신 회박 어레이의 P와 L을 각각 (P_T, L_T) 및 (P_R, L_R)로 정의한다.

<51> 첫번째 조건 : 회박 어레이 조건 ($P_T > L_T$ & $P_R > L_R$ & $P_T \neq P_R$)

<52> 먼저, 송신 및 수신 모두 회박 어레이가 되기 위한 첫번째 조건은 $P_T > L_T$ 이고, $P_R > L_R$ 이며, 이 때 $P_T = P_R$ 인 경우의
 공통 그레이팅 로브를 모두 제거할 수 없으므로, 최적의 송신 및 수신 주기 회박 어레이의 쌍이 되기 위한 전체
 조건은 $P_T \neq P_R$ 이다. 그 이유는 다음과 같다. $P_T = P_R$ 일 때, 송신 회박 어레이의 모든 초과 그레이팅 로브들은 수신
 회박 어레이의 그것과 같은 곳에 위치하고, 모든 초과 그레이팅 로브들이 공통 그레이팅 로브가 되므로, $L_T = P_T$
 이거나 $L_R = P_R$ 인 경우에만 제거될 수 있음을 알 수 있다. 이는 공통 그레이팅 로브를 피하기 위해서는 송신 및 수
 신 어레이 중에서 적어도 하나는 FSA가 되어야만 한다는 것을 의미한다. 따라서, 공통 그레이팅 로브가 제거될
 수 있는 송신 및 수신 회박 어레이의 쌍을 설계하기 위해서는 P_T 와 P_R 이 반드시 다른 값을 가져야만 한다.

<53> 두번째 조건 : 공통 그레이팅로브 제거

<54> 두번째 조건은, 송신 회박 어레이의 (P_T, L_T)가 수신 회박 어레이의 (P_R, L_R)과 쌍을 이뤘을 때, 다음의 세가지 경
 우에는 공통 그레이팅 로브가 발생하지 않게 되는 조건들로서, 아래의 M1, M2, M3의 3가지 방법이 존재한다.

<55> (M1) P_T 와 P_R 이 서로 소인 정수인 경우,

<56> (M2) 임의의 P_T 와 P_R 이 $P_T > P_R$ 이고 $L_T = P_R$ 인 경우,

<57> (M3) P_T 와 P_R 이 서로 소의 정수가 아니고, $P_T \neq P_R$ 인 경우에 대하여 L_T 또는 L_R 이 P_T 와 P_R 의 최대 공약수인 경우,

<58>에는 공통 그레이팅 로브가 발생하지 않게 된다. 이하, 위의 3가지 경우에 대해 각각 설명한다.

<59> 먼저 (M1)의 경우에 대하여 설명한다. 송신 회박 어레이와 수신 회박 어레이는 각각 $u' = n\lambda/P_T d$ 및
 $u' = m\lambda/P_R d$ ($n, m \geq 1$)의 위치에서 초과 그레이팅 로브를 갖게 되며, 이러한 초과 그레이팅 로브들 중에서
 $n\lambda/P_T d = m\lambda/P_R d$ 인 경우에 해당하는 그레이팅 로브는 공통 그레이팅 로브가 된다. 만약 P_T 와 P_R 이 서로 소인 경
 우 $n = kP_T$ 와 $m = kP_R$ ($k = 1, 2, \dots$) 일 때 이러한 조건이 만족된다. 따라서, 공통 그레이팅 로브의 위치는
 $u' = k\lambda/d$ 로 주어진다. 그러나 이러한 위치는 초음파 영상의 주요 범위가 아니다. 따라서, P_T 와 P_R 이 서로 소인
 경우 초음파 영상의 주요 범위내에서는 공통 그레이팅 로브가 존재하지 않게 된다.

<60> 다음, (M2)의 경우에 대하여 설명한다. 임의의 정수 P_T 와 P_R 을 고려하면, $P_T > P_R$ 이면, $L_T = P_R < P_T$ 가 되어 송신 어
 레이는 회박 어레이가 된다. 이 경우, $W_L(u')$ 이 $u' = n\lambda/P_R d$, $1 \leq n \leq P_R - 1$ 인 위치에서 제로점을 갖는다. 수신

회박 어레이의 초과 그레이팅 로브는 $W_{\pm}(u')$ 와 같은 위치에서 발생하기 때문에, 최종 빔패턴에서는 수신 그레이팅 로브들이 완전히 제거되어 공통 그레이팅 로브가 발생하지 않게 된다.

<61> 다음, (M3)의 경우에 대하여 설명한다. 1보다 큰 정수 n_0 가 P_T 와 P_R 의 최대공약수라고 하면, 수학식 5와 같은 1 이외의 공약수를 갖지 않는 서로 소인 두 정수 k_T, k_R 를 얻을 수 있게 된다.

수학식 5

$$k_T = P_T / n_0$$

$$k_R = P_R / n_0$$

<62>

<63> 여기서, $k_T / P_T = k_R / P_R = 1 / n_0$ 이므로, 수학식 6이 성립된다.

수학식 6

$$\frac{k_T \cdot \lambda}{P_T \cdot d} = \frac{k_R \cdot \lambda}{P_R \cdot d} = \frac{1 \cdot \lambda}{n_0 \cdot d}$$

<64>

<65> 수학식 6으로부터, 송신 회박 어레이의 k_T 번째 초과 그레이팅 로브의 위치와 수신 회박 어레이의 k_R 번째 초과 그레이팅 로브의 위치가 $u' = \lambda / n_0 d$ 로 같은 위치에 존재함을 알 수 있다. 또한, k_T 와 k_R 은 서로 소의 관계이므로, 이 그레이팅 로브는 첫번째 공통 그레이팅 로브가 된다. 다시 말해서, 송신 회박 어레이의 매 k_T 번째 그레이팅 로브와 수신 회박 어레이의 k_R 번째 그레이팅 로브는 공통 그레이팅 로브가 된다. 즉, 공통 그레이팅 로브가 $u' = n\lambda / n_0 d, n \geq 1$ 에 위치하게 되며, 전체적으로 $n_0 - 1$ 개의 공통 그레이팅 로브가 존재한다. 그런데, L_T 또는 L_R 이 P_T 와 P_R 의 최대 공약수 n_0 이면, 가중함수의 제로점이 정확하게 $u' = n\lambda / n_0 d, n \geq 1$ 에 위치하게 되므로, 모든 공통 그레이팅 로브는 제거된다.

<66> 한편, 송신 회박 어레이와 수신 회박 어레이의 P_T 와 P_R 에 대하여 최대 공약수(n_0)가 $n_0 > 1$ 일 때, u' 의 주요 범위에 서 $(P_T, L_T) = (k_T, 1)$ 와 $(P_R, L_R) = (k_R, 1)$ 의 주기 회박 어레이와 같은 빔 패턴을 갖는 $n_0 - 1$ 의 등구간이 존재하게 된다. 그 이유는 다음과 같다. n_0 가 P_T 와 P_R 의 최대 공약수인 경우, k_T 와 k_R 은 서로 소가 된다. 송신 회박 어레이의 k_T 번째와 수신 회박 어레이의 k_R 번째 그레이팅 로브는 $u' = n\lambda / n_0 d, 1 \leq n \leq n_0 - 1$ 에 위치하는 공통 그레이팅 로브가 된다. 따라서, u' 의 주요범위를 $n_0 - 1$ 개의 구간으로 등분하면, m 번째 구간은 $m\lambda / n_0 d \leq u' \leq (m+1)\lambda / n_0 d, (0 \leq m \leq n_0 - 1)$ 이 된다. 이 때 각 구간은 송신 빔 패턴의 경우 $\lambda / P_T d$ 간격의 k_T 개의 구간으로 나누어지고, 수신 빔 패턴의 경우에는 $\lambda / P_R d$ 간격의 k_R 개의 구간으로 나누어진다. 그러므로 $\Phi_e(u)$ 의 영향을 무시하면 이러한 각각의 구간은 $(P_T, L_T) = (k_T, 1)$ 와 $(P_R, L_R) = (k_R, 1)$ 의 주기 회박 어레이의 빔 패턴과 정확하게 같은 빔 패턴을 포함하고 있게 된다.

주기 회박 어레이 최적 설계 기준

<67> 지금까지 주기 회박 어레이의 빔 패턴을 최적화 하기 위해서는 공통 그레이팅 로브가 제거되어야만 한다는 것을 설명하였으며, 공통 그레이팅 로브를 제거하는 3가지 방법을 설명하였다. 하지만, 각각의 경우에 해당하는 다양한 주기 회박 어레이 쌍이 존재할 수 있기 때문에 각각의 성능을 평가하기 위한 기준이 필요하다. 따라서, 본 발명에서는 회박 인자(SF: Sparsity Factor)와 빔 교차상쇄(DBC: Destructive Beam Cross-Interference)를 정의하고 이들을 종합하여 제안한 설계 기법의 성능을 비교 분석하도록 하고, 최적의 주기 회박 어레이의 쌍을 결정하는 방법을 제공한다.

<69> 먼저, 공통 그레이팅 로브가 제거된 경우, L_T 또는 L_R 은 송신 및 수신 어레이에서 실제 사용되는 소자의 개수를 가능한 작게 유지하면서 초과 그레이팅 로브를 원하는 레벨 이하로 억제할 수 있도록 선택하여야만 한다. 앞으로 송신 및 수신 회박 어레이의 회박 인자(SF)를 수학식 7과 같이 정의하고, 전체 회박 인자 SF를 수학식 8로 나타내기로 한다.

수학식 7

$$SF_T = \frac{P_T}{L_T}, SF_R = \frac{P_R}{L_R}$$

<70>

수학식 8

$$SF = SF_T \cdot SF_R = \frac{P_T}{L_T} \cdot \frac{P_R}{L_R}$$

<71>

<72> 수학식 7 및 수학식 8으로부터 회박 인자는 주기 내에서 실제 사용되는 소자의 개수가 적을수록 더 큰 값을 갖게 됨을 알 수 있다. 일반적으로 회박 어레이 기법을 사용하는 가장 큰 이유는 실제 사용되는 채널 수를 줄이기 위함으로써, 동등한 성능의 빔 패턴을 갖는 회박 어레이들 중에서는 SF가 큰 회박 어레이가 더욱 우수하다고 할 수 있다. 이러한 관점에서 본 명세서에서는 SF가 가장 크도록 L_T 와 L_R 을 최소값으로 사용하는 경우를 기본형으로 부르기로 한다. 따라서, 앞서 설명한 3가지의 경우 중 (M1)의 기본형은 L_T 와 L_R 이 모두 1이고, (M2)의 기본형은 $L_T=P_R$, $L_R=1$ 이며, (M3)의 경우의 기본형은 $L_T=n_0$, $L_R=1$ 이다. 또한, 본 명세서에서는 편의상 L_T 와 L_R 이 최소값이 아닌 경우를 확장형으로 부르기로 한다.

<73> 다음, 빔 교차상쇄(DBC)는 주엽과 첫번째 송신 및 수신 그레이팅 로브 사이의 거리와 송수신 그레이팅 로브들 사이의 거리로 정의한다. 편의상 송신 및 수신 그레이팅 로브의 위치를 각각 $TGL(n)$ 과 $RGL(m)$ ($0 < n < P_T$, $0 < m < P_R$)로 나타내고, $TGL(0)$ 와 $RGL(0)$ 를 주엽의 위치로 표시하면 DBC는 수학식 9와 같이 정의된다.

수학식 9

$$DBC_{M_T G_{R1}} = |TGL(0) - RGL(1)| = \frac{\lambda}{P_R d}$$

$$DBC_{M_R G_{T1}} = |RGL(0) - TGL(1)| = \frac{\lambda}{P_T d}$$

$$DBC_{G_{Tn} G_{Rm}} = \left| TGL(n) - RGL(m) \right| = \left| \frac{n\lambda}{P_T d} - \frac{m\lambda}{P_R d} \right|$$

<74>

<75> 공통 그레이팅 로브가 제거된 경우, 초과 송신 또는 수신 그레이팅 로브는 최종 빔 패턴에서 수신 또는 송신 빔 패턴의 측엽의 레벨이하로 제한된다. 여기서, 회박 어레이의 주요 빔 패턴이 sine함수와 유사한 형태이므로, 단방향 빔 패턴의 측엽은 주엽폭의 절반의 거리마다 발생하며, 주엽으로부터 멀리 떨어질수록 낮은 레벨을 갖는다. 도 3은 주요 빔 패턴의 각 측엽의 크기를 구하여 정리한 도표이다. 도 3을 통해 송신 또는 수신 빔 패턴의 10번째 측엽의 경우 대략 -30dB 정도의 레벨을 갖는다는 것을 알 수 있다.

<76> 한편, 공통 그레이팅 로브가 제거된 송신 회박 어레이 및 수신 회박 어레이의 기본형에 대한 빔 교차상쇄(DBC)의 최소값은 수학식 10으로 나타낼 수 있다.

수학식 10

$$\min \left(\left| \frac{n\lambda}{P_T d} - \frac{m\lambda}{P_R d} \right| \right) = \frac{\lambda}{SF \cdot d}$$

<77>

<78> 이하, 수학적 식 10에 대하여 설명한다.
$$\min\left(\frac{n\lambda}{P_T d} - \frac{m\lambda}{P_R d}\right) = \min\left(\frac{(nP_R - mP_T)\lambda}{P_T P_R d}\right)$$

$$\min(|nP_R - mP_T|)$$
 을

구하도록 한다. 여기서, 정수 집합 $Z_R = \{P_R, 2P_R, \dots, (P_T - 1)P_R\}$ 을 정의하면, $nP_R \in Z_{R0}$ 이 되어,

$$\min(|nP_R - mP_T|)$$

은 Z_R 의 각 원소를 P_T 로 나눈 나머지의 최소값을 의미하게 된다. 이때, 전술한 3가지의 경우 중 (M1)의 경우, P_T 와 P_R 은 서로소이므로, 최소공배수는 $P_T \cdot P_R$ 이 되므로, Z_R 의 모든 원소는 P_T 로 나누어 떨어지지 않는다. 또한, Z_R 의 두 원소 aP_R 과 bP_R (단 $a > b$)에 대하여 $(a-b)P_R$ 은 다시 Z_R 의 원소가 되기 때문에 역시 P_T 로 나누어 떨어지지 않게 된다. 이로부터, Z_R 의 모든 원소는 P_T 로 나누어 떨어지지 않으며 P_T 로 나누었을 때의 나머지가 모두 다른 값을 갖게 됨을 알 수 있다. 그러므로, Z_R 의 원소 중에서 P_T 로 나누었을 때 나머지가 1인 경우가

항상 존재한다. 즉 $\min(|nP_R - mP_T|) = 1$ 이 되므로,
$$\min\left(\frac{(nP_R - mP_T)\lambda}{P_T P_R d}\right) = \frac{\lambda}{P_T P_R d} = \frac{\lambda}{SF \cdot d}$$
 가 된다.

<79> 한편, 전술한 3가지의 경우 중 (M2)의 경우, 모든 수신 그레이팅 로브가 제거된 경우이기 때문에 RGL(m)이 존재

하지 않으므로,
$$\min\left(\frac{n\lambda}{P_T d} - \frac{m\lambda}{P_R d}\right) = \frac{\lambda}{P_T d} = \frac{\lambda}{SF \cdot d}$$
 이 된다.

<80> 마지막으로, 전술한 3가지의 경우 중 (M3)의 경우,
$$\min(|nP_R - mP_T|) = \min(|nk_R - mk_T|) \cdot n_0$$
 이다. 그런데, k_T 와

k_R 이 서로 소이므로, $\min(|nk_R - mk_T|) = 1$ 이 된다. 따라서,
$$\min\left(\frac{n\lambda}{P_T d} - \frac{m\lambda}{P_R d}\right) = \frac{n_0 \lambda}{P_T P_R d} = \frac{\lambda}{SF \cdot d}$$
 이 된다.

<81> 수학적 식 10을 이용하여, 주기 회박 어레이를 설계함에 있어서, 주어진 설계 변수들에 대한 최종 그레이팅 로브 억제 레벨을 예측하거나 원하는 그레이팅 로브 억제 레벨을 만족시킬 수 있는 주요 변수들의 조건을 결정할 수 있게 된다.

<82> 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 전술한 방법들을 이용하여 그레이팅 로브가 원하는 만큼 억제된 다양한 주기 회박 어레이의 기본형 및 확장형을 설계할 수 있게 된다. 그러나, 이러한 주기 회박 어레이들 중에서 최적의 성능을 갖는 송수신 쌍을 구하기 위해서는 다양한 논의가 필요하다. 우선, $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (6, 1, 5, 1)$ 인 경우와, $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (10, 1, 3, 1)$ 인 경우를 비교해보면, 이러한 두 예는 모두 전술한 방법 중 M3 경우에 대한 기본형이면서 $SF=30$ 으로 동일한 경우이다. 따라서, DBC의 최소값 정리에 의해 두 경우 모두 DBC의 최소값이 $\lambda/30d$ 가 된다. 그러나, 전자의 경우 송신 및 수신 그레이팅 로브의 총 개수는 $5+4 = 9$ 개이고, 후자의 경우 $9+2=11$ 개가 된다. 또한, 수신 빔 패턴의 주엽인 RGL(0)와 첫번째 송신 그레이팅 로브인 TGL(1) 사이의 거리는, 전자의 경우 $\lambda/6d$ 이지만, 후자의 경우에는 $\lambda/10d$ 가 된다. 그러므로 최종 빔 패턴은 전자의 경우가 더 우수하다고 결정된다.

<83> 또한, 같은 회박 인자를 갖는 기본형들 중에서 송신 회박 인자와 수신 회박 인자가 비슷한 값을 갖는 경우가 가장 우수한 빔 패턴 성능을 갖게 된다. 따라서, 상기 회박 인자들이 동일하면, 각 쌍에 대하여 송신 회박 인자와 수신 회박 인자의 차이값을 계산하고, 상기 차이값이 가장 작은 송신 회박 어레이의 (P_T, L_T) 및 수신 회박 어레이의 (P_R, L_R) 을 최종 결정할 수 있을 것이다.

<84> 또한, 동일한 회박 인자를 갖는 M1, M2, M3의 기본형들에 대한 빔 패턴을 성능을 비교해보면, 송수신 그레이팅 로브 사이의 최소 거리는 모두 동일하다. M1과는 달리 M2와 M3는 공통그레이팅 로브를 제거할 뿐만 아니라 초과 그레이팅 로브를 억제할 수 있기 때문에, M1보다 우수한 빔 패턴 성능을 갖게 된다. 특히, M2는 L_T 를 임의로 선

택할 수 있기 때문에 가장 우수한 빔 패턴 성능을 갖는다. 한편, 동일한 SF를 갖는 기본형과 확장형 중에서는 기본형의 성능이 더욱 우수하다. 따라서, 주기회박어레이를 설계함에 있어서, 송신 회박 인자와 수신 회박 인자가 비슷한 값을 갖도록 M2의 기본형으로 설계함으로써, 최적의 주기회박어레이를 설계할 수 있게 된다.

<85> 이상에서 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예를 중심으로 설명하였으나, 이는 단지 예시일 뿐 본 발명을 한정하는 것이 아니며, 본 발명이 속하는 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성을 벗어나지 않는 범위에서 이상에 예시되지 않은 여러 가지의 변형과 응용이 가능함을 알 수 있을 것이다. 그리고, 이러한 변형과 응용에 관계된 차이점들은 첨부된 청구 범위에서 규정하는 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

산업이용 가능성

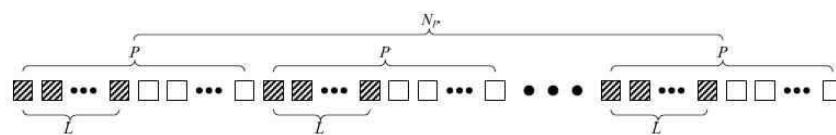
<86> 본 발명에 따른 주기 회박 어레이의 최적 설계 방법은 전술한 방법에 따라 구경의 크기, 회박 인자 및 빔 패턴 성능의 3가지 설계 변수 중에서 2가지 조건만 주어지더라도 원하는 주기 회박 어레이를 얻을 수 있게 되므로, 다양한 활용이 가능해진다. 예를 들면, 원하는 주기 회박 어레이의 구경의 크기와 회박 인자가 주어진 경우, 송수신 회박 어레이의 P_T, L_T, P_R, L_R 을 얻을 수 있으며, 이 경우의 빔 패턴 성능도 쉽게 예상할 수 있게 된다. 또한, 구경의 크기와 원하는 빔 패턴 성능이 주어지는 경우, 최대 회박인자값이 결정되므로, 이를 만족하는 P_T, L_T, P_R, L_R 을 얻을 수 있게 된다. 또한, 회박 인자와 원하는 빔 패턴 성능이 주어지는 경우에도, 이를 만족하는 최소 구경의 크기가 계산되므로, 이를 만족하는 P_T, L_T, P_R, L_R 을 얻을 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

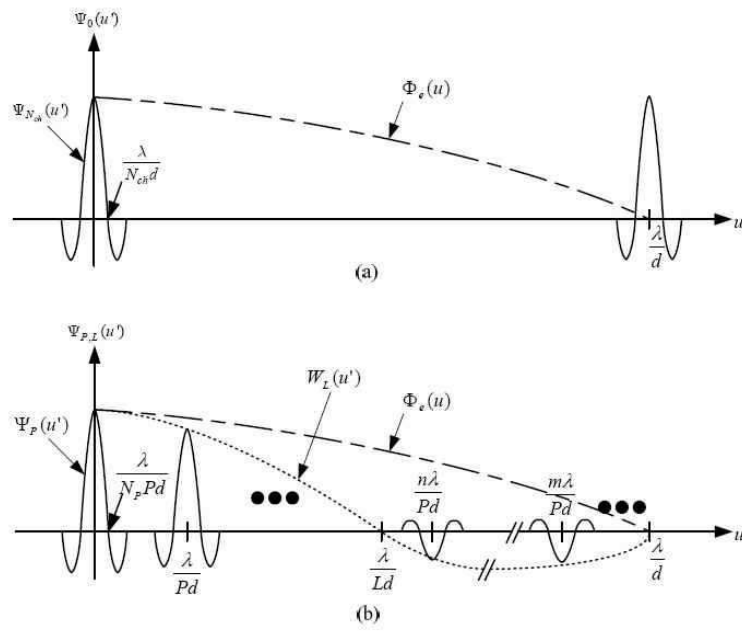
- <87> 도 1은 본 발명에 따른 균일 가중 주기 회박 어레이에 대한 일반 모델을 도시한 그림이다.
- <88> 도 2는 FSA와 회박 어레이간의 측방향 빔 패턴의 차이를 분석하기 위하여 도시한 단방향 연속과 빔 패턴들로서, (a)는 FSA를 사용한 경우이며, (b)는 주기 회박 어레이를 사용한 경우이다.
- <89> 도 3은 주요 빔 패턴의 각 측엽의 크기를 구하여 정리한 도표이다.
- <90> 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 설계 방법에서 M1의 조건을 만족하는 $(P_T, L_T, P_R, L_R)=(3, 1, 2, 1)$ 인 주기 회박 어레이에 대한 유효 구경을 도시한 그래프이다.
- <91> 도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 설계 방법에서 M2의 조건을 만족하는 $(P_T, L_T, P_R, L_R)=(3, 2, 2, 1)$ 인 주기 회박 어레이의 유효 구경을 도시한 그래프이며, 도 6은 $(P_T, L_T, P_R, L_R)=(6, 2, 2, 1)$ 인 주기 회박 어레이의 유효 구경을 도시한 그래프이며, 도 7은 64개의 배열 소자에 최적화된 M2의 $(P_T, L_T, P_R, L_R)=(3, 2, 2, 1)$ 인 주기 회박 어레이에 대한 연속과 빔 패턴을 도시한 그래프이며, 도 8은 $(P_T, L_T, P_R, L_R)=(6, 2, 2, 1)$ 인 주기 회박 어레이에 대한 연속과 빔 패턴을 도시한 그래프이다.
- <92> 도 9는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 설계 방법에서 M2의 조건을 만족하는 M3의 $(P_T, L_T, P_R, L_R) = (6, 2, 4, 2)$ 인 주기 회박 어레이의 유효 구경을 도시한 그래프이며, 도 10은 연속과 빔 패턴을 도시한 그래프이다.

도면

도면1



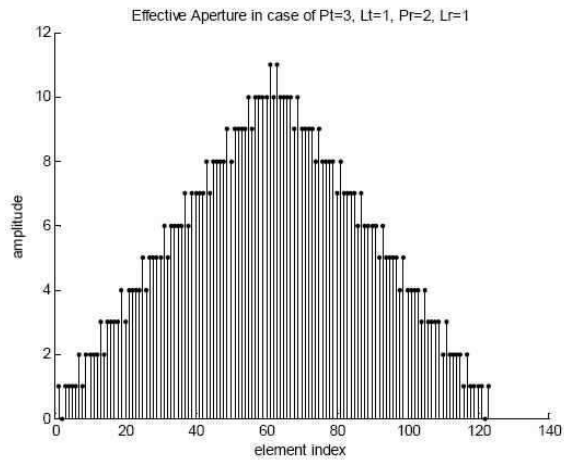
도면2



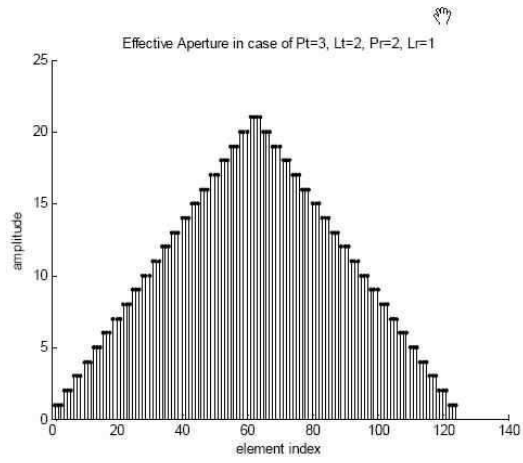
도면3

측엽위치	크기
1번째	-13.1dB
2번째	-17.7dB
3번째	-20.6dB
4번째	-22.8dB
5번째	-24.5dB
6번째	-25.9dB
7번째	-27.1dB
8번째	-28.2dB
9번째	-29.1dB
10번째	-29.9dB
15번째	-32.8dB

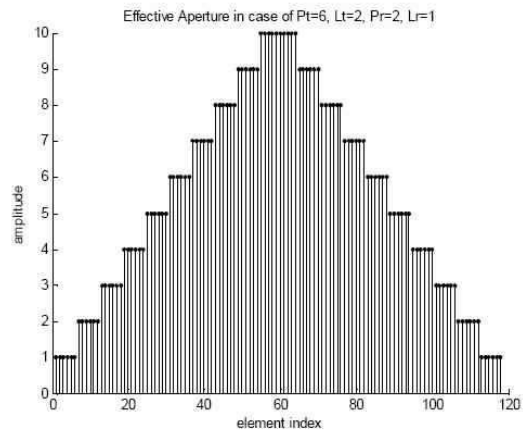
도면4



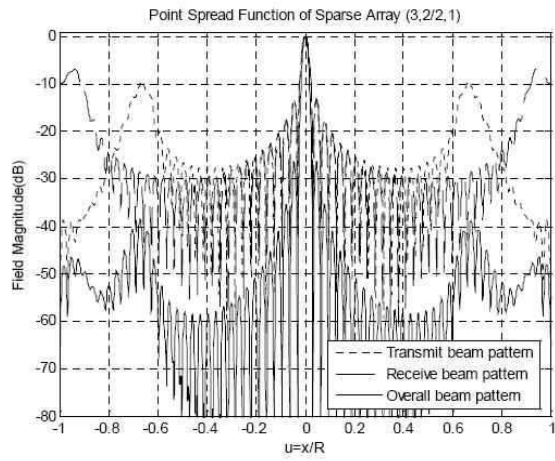
도면5



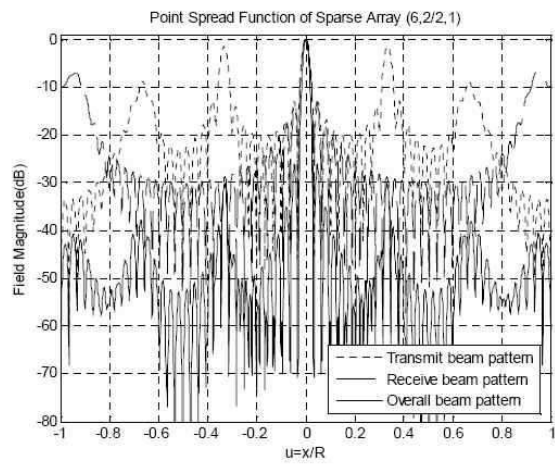
도면6



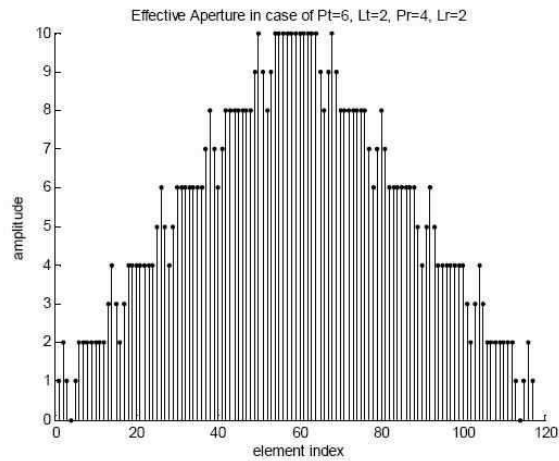
도면7



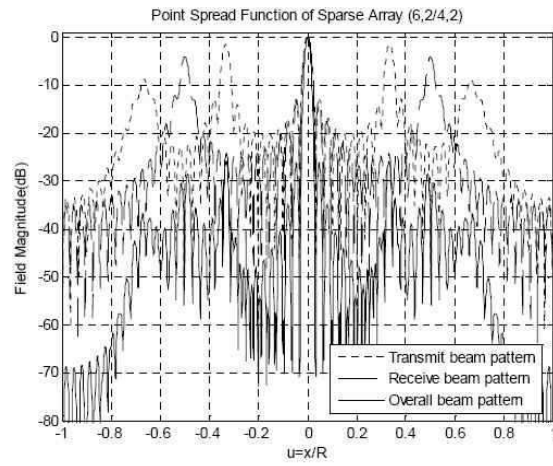
도면8



도면9



도면10



专利名称(译)	超声图像系统循环精益阵列的优化设计方法		
公开(公告)号	KR100922180B1	公开(公告)日	2009-10-19
申请号	KR1020080042514	申请日	2008-05-07
[标]申请(专利权)人(译)	서강대학교산학협력단		
申请(专利权)人(译)	서강대학교산학협력단		
当前申请(专利权)人(译)	서강대학교산학협력단		
[标]发明人	SONG TAI KYONG 송태경 KIM GI DUCK 김기덕		
发明人	송태경 김기덕		
IPC分类号	A61B8/00 H01L41/00 G03B42/06		
CPC分类号	A61B8/52 G03B42/06 G03B42/08 H01L41/02		
代理人(译)	LEE , JI YEON		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

目的：提供一种超声图像系统的周期性稀疏阵列的优化设计方法，以在使用小通道时使用所需直径获得相同的效果，而不增加硬件的复杂性。
 组成：超声图像系统包括由N个元素组成的阵列变化因子。用于超声图像系统的周期性稀疏阵列的优化设计方法包括以下步骤：设置周期性稀疏阵列的周期，其中不产生共同的光栅波瓣，以及来自稀疏发射和接收阵列的元件的数量。

