(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0116541
(43) 공개일자 2009년11월11일

(51) Int. Cl.
H01L 41/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-0042543
(22) 출원일자 2008년05월07일
심사청구일자 2008년05월07일

(71) 출원인
서강대학교산학협력단
서울 마포구 신수동 1-1 서강대학교
(72) 발명자
송태경
서울특별시 서초구 잠원동 66-3 동아아파트 105동 1403호
김기덕
인천광역시 부평구 부평6동 604-39 목련연립 라-102호
(74) 대리인
이지연

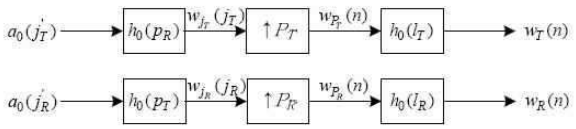
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 초음파 영상 시스템의 비균일 가중 주기 희박 어레이의최적 설계 방법

(57) 요 약

본 발명은 초음파 영상 시스템의 비균일 가중 주기 희박 어레이의 최적 설계 방법에 관한 것이다. 상기 주기 희박 어레이의 설계 방법은 (a) 송신 희박 어레이와 수신 희박 어레이의 빔 패턴에서 공통 그레이팅 로브(Common Grating Lobe)가 발생되지 않도록 송신 희박 어레이의 주기(P_T)와 상기 주기 내에서 사용되는 배열 소자의 개수(L_T) 및 수신 희박 어레이의 주기(P_R)와 상기 주기 내에서 사용되는 배열 소자의 개수(L_R)를 설정하는 단계; (b) 공통 그레이팅 로브외의 모든 초과 그레이팅 로브를 제거하기 위한 송신 구경 가중 함수($W_T(n)$) 및 수신 구경 가중 함수($W_R(n)$)을 설정하는 단계를 구비한다. 상기 $W_T(n)$을 설정하는 단계는, J_T개의 배열 소자로 구성된 균일 가중 FSA의 구경 함수 $a_0(j_T)$ 및 P_R개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수 $h_0(P_R)$를 컨볼루션한 후, 상기 P_T배로 업-샘플링하여 $w_{PT}(n)$을 구하며, 상기 $w_{PT}(n)$와 L_T개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수 $h_0(L_T)$를 컨볼루션하여 구한다. 상기 $W_R(n)$을 설정하는 단계도 이와 유사하다.

대 표 도 - 도11



특허청구의 범위

청구항 1

전체 N개의 소자로 구성되는 어레이 변환자를 갖는 초음파 영상 시스템에서의 비균일 가중 주기 희박 어레이의 구경 가중 함수 설계 방법에 있어서,

(a) 송신 희박 어레이와 수신 희박 어레이의 빔 패턴에서 공통 그레이팅 로브(Common Grating Lobe)가 발생되지 않도록 송신 희박 어레이의 주기(P_T)와 상기 주기 내에서 사용되는 배열 소자의 개수(L_T)를 설정하는 단계;

(b) 송신 희박 어레이와 수신 희박 어레이의 빔 패턴에서 공통 그레이팅 로브(Common Grating Lobe)가 발생되지 않도록 수신 희박 어레이의 주기(P_R) 및 상기 주기 내에서 사용되는 배열 소자의 개수(L_R)를 설정하는 단계;

(c) 상기 송신 희박 어레이의 빔 패턴에 적용할 송신 구경 가중 함수($W_T(n)$)을 설정하는 단계;

(d) 상기 수신 희박 어레이의 빔 패턴에 적용할 수신 구경 가중 함수($W_R(n)$)을 설정하는 단계;

를 구비하는 것을 특징으로 하는 비균일 가중 주기 희박 어레이 설계 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, (c) 단계는,

(c1) J_T개의 배열 소자로 구성된 균일 가중 FSA의 구경 함수 $a_0(j_T)$를 구하는 단계;

(c2) 수신 희박 어레이의 주기(P_R)개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(P_R)$)를 구하는 단계;

(c3) 상기 구경 함수 $a_0(j_T)$와 상기 구경 함수 $h_0(P_R)$를 컨볼루션한 후, 상기 P_T배로 업-샘플링하여 가중함수($w_{PT}(n)$)을 구하는 단계;

(c4) 송신 희박 어레이의 사용 소자 개수 L_T개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(L_T)$)를 구하는 단계;

(c5) 상기 가중함수($w_{PT}(n)$)와 구경함수($h_0(L_T)$)를 컨볼루션하는 단계;

를 구비하고, 상기 J_T는 전체 배열 변환자의 소자 개수 N을 송신 희박 어레이의 주기(P_T)로 나눈 값보다 크지 않은 최대 정수값이며, 송신 구경 가중 함수($W_T(n)$)를 결정하는 것을 특징으로 하는 비균일 가중 주기 희박 어레이 설계 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, (d) 단계는,

(d1) J_R개의 배열 소자로 구성된 균일 가중 FSA의 구경 함수 $a_0(j_R)$를 구하는 단계;

(d2) 수신 희박 어레이의 주기(P_T)개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(P_T)$)를 구하는 단계;

(d3) 상기 구경 함수 $a_0(j_R)$와 상기 구경 함수 $h_0(P_T)$를 컨볼루션한 후, 상기 P_R배로 업-샘플링하여 가중 함수($w_{PR}(n)$)을 구하는 단계;

(d4) 수신 희박 어레이의 사용 소자 개수 L_R개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(L_R)$)를 구하는 단계;

(d5) 상기 가중함수($w_{PR}(n)$)와 구경함수($h_0(L_R)$)를 컨볼루션하는 단계;

를 구비하고, 상기 J_R는 전체 배열 변환자의 소자 개수 N을 수신 희박 어레이의 주기(P_R)로 나눈 값보다 크지 않은 최대 정수값이며, 수신 구경 가중 함수($W_R(n)$)를 결정하는 것을 특징으로 하는 비균일 가중 주기 희박 어레이 설계 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, (c) 단계는,

(c1) J_T개의 배열 소자로 구성된 균일 가중 FSA의 구경 함수 $a_0(j_T)$를 구하는 단계;

(c2) 수신 희박 어레이의 주기(P_R)의 배수 개($n \times P_R$)의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(n \times P_R)$)를 구하는 단계;

(c3) 상기 구경 함수 $a_0(j_T)$와 상기 구경 함수 $h_0(n \times P_R)$를 컨볼루션한 후, 상기 P_T배로 업-샘플링하여 가중함수($w_{PT}(n)$)을 구하는 단계;

(c4) 송신 희박 어레이의 사용 소자 개수 L_T개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(L_T)$)를 구하는 단계;

(c5) 상기 가중함수($w_{PT}(n)$)와 구경함수($h_0(L_T)$)를 컨볼루션하는 단계;

를 구비하고, 상기 J_T는 전체 배열 변환자의 소자 개수 N을 송신 희박 어레이의 주기(P_T)로 나눈 값보다 크지 않은 최대 정수값이며, 송신 구경 가중 함수($W_T(n)$)를 결정하는 것을 특징으로 하는 비균일 가중 주기 희박 어레이 설계 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, (d) 단계는,

(d1) J_R개의 배열 소자로 구성된 균일 가중 FSA의 구경 함수 $a_0(j_R)$를 구하는 단계;

(d2) 수신 희박 어레이의 주기(P_T)의 배수개($m \times P_T$)의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(m \times P_T)$)를 구하는 단계;

(d3) 상기 구경 함수 $a_0(j_R)$와 상기 구경 함수 $h_0(m \times P_T)$를 컨볼루션한 후, 상기 P_R배로 업-샘플링하여 가중 함수($w_{PR}(n)$)을 구하는 단계;

(d4) 수신 희박 어레이의 사용 소자 개수 L_R개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(L_R)$)를 구하는 단계;

(d5) 상기 가중함수($w_{PR}(n)$)와 구경함수($h_0(L_R)$)를 컨볼루션하는 단계;

를 구비하고, 상기 J_R는 전체 배열 변환자의 소자 개수 N을 수신 희박 어레이의 주기(P_R)로 나눈 값보다 크지 않은 최대 정수값이며, 수신 구경 가중 함수($W_R(n)$)를 결정하는 것을 특징으로 하는 비균일 가중 주기 희박 어레이 설계 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, (a) 단계 및 (b) 단계에서, 상기 송신 희박 어레이의 주기(P_T)와 수신희박어레이의 주기(P_R)은 같지 아니하며, 상기 P_T와 P_R은 서로 소인 정수가 되도록, 송신 희박 어레이의 P_T와 L_T 및 수신 희박 어레이의 P_R과 L_R을 설정하는 것을 특징으로 하는 비균일 가중 주기 희박 어레이 설계 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, (a) 단계 및 (b) 단계에서, 상기 송신 희박 어레이의 주기(P_T)와 수신희박어레이의 주기(P_R)는 같지 아니하며, $P_T > P_R$이며, $L_T = P_R$ 이 만족되도록, 송신 희박 어레이의 P_T와 L_T 및 수신 희박 어레이의 P_R과 L_R을 설정하는 것을 특징으로 하는 비균일 가중 주기 희박 어레이 설계 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, (a) 단계 및 (b) 단계에서, 상기 송신 희박 어레이의 주기(P_T)와 수신희박어레이의 주기(P_R)는

같지 아니하며, P_T와 P_R이 서로 소가 아니고, L_T 또는 L_R이 P_T와 P_R의 최대 공약수가 되도록, 송신 희박 어레이의 P_T와 L_T 및 수신 희박 어레이의 P_R과 L_R을 설정하는 것을 특징으로 하는 비균일 가중 주기 희박 어레이 설계 방법.

청구항 9

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

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

<1> 본 발명은 초음파 영상 시스템에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로는 초음파 영상 시스템의 비균일 가중 주기 희박 어레이에 사용되는 구경 가중 함수에 대한 최적 설계 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

<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 신호처리하여 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 집속하게 된다.

<4> 본 명세서에서는 전술한 바와 같이 구경의 크기 내에 있는 모든 배열 소자를 사용하는 일반적인 경우를 전샘플 어레이(fully sampled array; 이하 'FSA'라 한다)라고 칭한다. FSA를 사용하는 일반적인 초음파 시스템은 더 높은 해상도를 얻기 위해 구경의 크기, 즉 채널수를 늘리고 동적 집속과 같은 고성능의 집속 기법을 사용하고 있다. 여기서, 각각의 채널은 초음파 송수신 회로 및 집속을 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 희박 어레이(sparse array) 기법은 제한된 채널수로 큰 구경을 사용한 것과 같은 효과를 얻을 수 있기 때문에 중요한 연구 대상 중 하나이다.

<6> 희박 어레이 기법이란, 영상이 요구하는 구경내에서 일부 배열 소자만을 사용하여 소자의 위치를 희박하게 분포시킴으로써, 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, 희박 어레이 기법에서는 실제 사용하는 배열 소자간의 거리가 증가하게 되어 원하지 않는 그레이팅 로브(grating lobe)가 발생하게 된다. 따라서, 희박 어레이를 설계함에 있어서 가장 중요한 고려사항은 주어진 설계 조건하에서 그레이팅 로브가 발생하지 않도록 하거나, 최소한의 그레이팅 로브만 발생하도록 억제하는

방법을 찾는 것이다.

<7> 이러한 희박 어레이 중 주기 희박 어레이(periodic sparse array)는 배열 소자를 구경내에서 규칙적으로 분포시키는 것이다. 주기 희박 어레이는 설계가 매우 간단하고 배열 소자가 분포하는 주기에 비례하여 채널수를 줄일 수 있는 장점이 있지만, 사용되는 배열 소자간의 거리가 주기에 비례하여 증가하므로 그레이팅 로브가 발생하는 문제점이 있다. 이와 같이 주기 희박 어레이의 그레이팅 로브를 제거하는 다양한 방법들이 제안되고 있다.

<8> 한편, 일반적인 배열 변환자, 즉 FSA를 사용하는 초음파 시스템에서는 수학식 1과 같이 구경 함수에 가중함수를 적용하여 측엽의 레벨을 억제하고 있다.

수학식 1

$$\Psi_{N_{ch}}(u') = \sum_{n=0}^{N_{ch}-1} w(n)\cdot a_0(n) e^{j\left(2\pi d\frac{u'}{\lambda}\right)n}$$

<9>

<10> 여기서, w(n)은 구경함수에 적용하는 구경 가중함수(apodization function)이며, $a_0(n)$은 n번째 배열 소자의 가중값을 나타내는 구경 함수이며, N_{ch}는 채널 수이다. 보편적으로 사용되는 구경 가중함수로는 해닝(hanning) 창함수(window function)와 해밍(hamming) 창함수 등이 있다. 도 1의 (a)는 구경 가중함수를 사용하지 않은 균일 가중 FSA의 경우에 대한 단방향 빔 패턴이며, (b)는 해닝 창함수로 구경 가중함수를 사용한 비균일 가중 FSA에 대한 단방향 빔 패턴이다. 도 1을 통해, 구경 가중함수를 사용한 경우는 주엽폭이 다소 증가하지만, 측엽의 레벨이 급격하게 억제되고 있음을 알 수 있다.

<11> 따라서, 균일 가중 주기 희박 어레이에 가중함수를 적용하면 빔 교차상쇄(DBC)의 효과가 향상될 수 있음을 쉽게 예상할 수 있다. 따라서, 본 발명에서는 구경 가중함수를 적용한 주기 희박 어레이를 '비균일 가중 주기 희박 어레이(non-uniform periodic sparse array)'로 부르기로 한다. 그러나, 이러한 일반적인 구경 가중함수를 사용한 비균일 가중 주기 희박 어레이는 균일 가중 주기 희박 어레이보다 주엽폭이 증가할 뿐만 아니라, 빔 집속 후의 신호의 크기가 감소하여 신호대 잡음비(SNR: signal-to-noise ratio)가 저하되며 송신 및 수신 회로에 부가적인 하드웨어가 필요하게 되어 시스템의 복잡도가 증가하게 되는 문제점이 있다.

<12> 이러한 문제를 해결하기 위해, 다양한 비균일 가중 희박 어레이의 설계 방법이 제안되었다. 이중 가장 보편화된 비균일 가중 희박 어레이의 설계 방법은 최종 빔 패턴을 최적화 하는 목적으로 유전자 알고리즘(genetic algorithm)과 같은 최적화 알고리즘을 이용한 방법이 있다. 이러한 접근 방법은 임의의 희박 어레이에 대하여 최적의 구경 가중함수를 설계할 수 있는 장점이 있지만, 구경 가중함수가 복잡한 함수의 형태를 갖게 되어 실제 하드웨어로 구현하는데 어려움이 있다.

<13> 또한, 그레이팅 로브를 억제하기 위한 비균일 가중 희박 어레이의 다른 설계 방법으로서, 그레이팅 로브를 신호의 잡음으로 간주한 후 이를 제거하기 위한 필터의 개념으로 희박 어레이의 구경 가중함수를 설계하는 방법이 있다. 이 경우 신호처리 기법을 사용하여 설계하기 때문에 구경 가중함수가 간단한 형태를 갖도록 할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 이러한 필터의 개념으로 구경 가중함수를 설계하는 경우에는 배열 변환자의 구경의 크기, 즉 배열 소자의 개수가 제한되어 있기 때문에 필터의 차수가 제한될 수 밖에 없다. 따라서, 필터의 개념으로 설계한 구경 가중함수는 주어진 희박 어레이에 대해서 원하는 성능을 얻지 못하는 경우가 발생할 수도 있다.

<14> 한편, 버니어 어레이의 설계 방법인 유효 구경 개념을 이용하여 비균일 가중 희박 어레이를 설계할 수도 있다. 유효 구경 개념을 이용한 방법은 주어진 희박 어레이에 구경 가중함수를 적용하였을 때의 유효 구경이 그렇지 않은 경우보다 FSA의 유효 구경에 근접하도록 구경 가중함수를 설계하는 방법이다. 이 방법에서는 유효 구경을 송수신 구경함수의 콘볼루션으로 정의하였기 때문에 다양한 신호처리 기법을 사용하여 주어진 희박 어레이의 유효 구경을 최적화 할 수 있다. 하지만, 균일 가중 주기 희박 어레이의 설계의 경우와 마찬가지로 해석에 의한 접근 방법이 아니기 때문에 임의의 주기 희박 어레이에 대하여 그레이팅 로브 제거 관점에서 최적의 구경 가중함수의 조건을 유도할 수 없었다.

<15> 따라서, 본 발명에서는 주기 희박 어레이에 대한 공통 그레이팅 로브를 제외한 다른 초과 그레이팅 로브를 효과적으로 억제하여 최종 빔 패턴을 최적화할 수 있는 가중 함수를 설계함으로써, 최적의 비균일 가중 주기 희박 어레이의 설계 방법을 제안한다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<16> 전술한 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은 가중 함수를 이용하여 송신 희박 어레이와 수신 희박 어레이의 공통 그레이팅 로브를 제외한 다른 초과 그레이팅 로브를 효과적으로 억제하여 주기 희박 어레이의 최종 빔 패턴을 최적화할 수 있는 비균일 가중 주기 희박 어레이의 최적 설계 방법을 제공하는 것이다.

과제 해결수단

<17> 전술한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 특징은 전체 N개의 소자로 구성되는 어레이 변환자를 갖는 초음파 영상 시스템에서의 비균일 가중 주기 희박 어레이의 최적 설계 방법에 관한 것으로서

<18> (a) 송신 희박 어레이와 수신 희박 어레이의 빔 패턴에서 공통 그레이팅 로브(Common Grating Lobe)가 발생되지 않도록 송신 희박 어레이의 주기(P_T)와 상기 주기 내에서 사용되는 배열 소자의 개수(L_T)를 설정하는 단계;

<19> (b) 송신 희박 어레이와 수신 희박 어레이의 빔 패턴에서 공통 그레이팅 로브(Common Grating Lobe)가 발생되지 않도록 수신 희박 어레이의 주기(P_R) 및 상기 주기 내에서 사용되는 배열 소자의 개수(L_R)를 설정하는 단계;

<20> (c) 상기 송신 희박 어레이의 빔 패턴에 적용할 송신 구경 가중 함수($W_T(n)$)을 설정하는 단계;

<21> (d) 상기 수신 희박 어레이의 빔 패턴에 적용할 수신 구경 가중 함수($W_R(n)$)을 설정하는 단계; 를 구비한다.

<22> 전술한 특징을 갖는 비균일 가중 주기 희박 어레이의 최적 설계 방법의 상기 (c) 단계는, (c1) J_T개의 배열 소자로 구성된 균일 가중 FSA의 구경 함수 $a_0(j_T)$를 구하는 단계; (c2) 수신 희박 어레이의 주기(P_R)개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(P_R)$)를 구하는 단계; (c3) 상기 구경 함수 $a_0(j_T)$와 상기 구경 함수 $h_0(P_R)$를 컨볼루션한 후, 상기 P_T배로 업-샘플링하여 가중 함수($w_{PT}(n)$)을 구하는 단계; (c4) 송신 희박 어레이의 사용 소자 개수 L_T개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(L_T)$)를 구하는 단계; (c5) 상기 $w_{PT}(n)$와 구경함수($h_0(L_T)$)를 컨볼루션하는 단계;를 구비하여, 송신 구경 가중 함수($W_T(n)$)를 결정하며,

<23> 상기 (d) 단계는, (d1) J_R개의 배열 소자로 구성된 균일 가중 FSA의 구경 함수 $a_0(j_R)$를 구하는 단계; (d2) 수신 희박 어레이의 주기(P_T)개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(P_T)$)를 구하는 단계; (d3) 상기 구경 함수 $a_0(j_R)$와 상기 구경 함수 $h_0(P_T)$를 컨볼루션한 후, 상기 P_R배로 업-샘플링하여 가중 함수($w_{PR}(n)$)을 구하는 단계; (d4) 수신 희박 어레이의 사용 소자 개수 L_R개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(L_R)$)를 구하는 단계; (d5) 상기 $w_{PR}(n)$와 구경함수($h_0(L_R)$)를 컨볼루션하는 단계;를 구비하여, 수신 구경 가중 함수($W_R(n)$)를 결정하며,

<24> 상기 J_T는 전체 배열 변환자의 소자 개수 N을 송신 희박 어레이의 주기(P_T)로 나눈 값보다 크지 않은 최대 정수값이며, 상기 J_R는 전체 배열 변환자의 소자 개수 N을 수신 희박 어레이의 주기(P_R)로 나눈 값보다 크지 않은 최대 정수값으로 형성할 수 있다.

<25> 전술한 특징을 갖는 비균일 가중 주기 희박 어레이의 최적 설계 방법의 (c) 단계는,

<26> (c1) J_T개의 배열 소자로 구성된 균일 가중 FSA의 구경 함수 $a_0(j_T)$를 구하는 단계;

<27> (c2) 수신 희박 어레이의 주기(P_R)의 배수 개($n \times P_R$)의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(n \times P_R)$)를 구하는 단계;

<28> (c3) 상기 구경 함수 $a_0(j_T)$와 상기 구경 함수 $h_0(n \times P_R)$를 컨볼루션한 후, 상기 P_T배로 업-샘플링하여 가중함수($w_{PT}(n)$)을 구하는 단계;

<29> (c4) 송신 희박 어레이의 사용 소자 개수 L_T개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(L_T)$)를 구하는 단계;

<30> (c5) 상기 가중함수($w_{PT}(n)$)와 구경함수($h_0(L_T)$)를 컨볼루션하는 단계;

<31> 를 구비하여, 송신 구경 가중 함수($W_T(n)$)를 결정하며,

<32> 상기 (d) 단계는,

<33> (d1) J_R개의 배열 소자로 구성된 균일 가중 FSA의 구경 함수 $a_0(j_R)$를 구하는 단계;

<34> (d2) 수신 희박 어레이의 주기(P_T)의 배수개($m \times P_T$)의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(m \times P_T)$)를 구하는 단계;

<35> (d3) 상기 구경 함수 $a_0(j_R)$와 상기 구경 함수 $h_0(m \times P_T)$를 컨볼루션한 후, 상기 P_R배로 업-샘플링하여 가중 함수($w_{PR}(n)$)을 구하는 단계;

<36> (d4) 수신 희박 어레이의 사용 소자 개수 L_R개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(L_R)$)를 구하는 단계;

<37> (d5) 상기 가중함수($w_{PR}(n)$)와 구경함수($h_0(L_R)$)를 컨볼루션하는 단계;를 구비하여, 수신 구경 가중 함수($W_R(n)$)를 결정하며,

<38> 상기 J_T는 전체 배열 변환자의 소자 개수 N을 송신 희박 어레이의 주기(P_T)로 나눈 값보다 크지 않은 최대 정수값이며, 상기 J_R는 전체 배열 변환자의 소자 개수 N을 수신 희박 어레이의 주기(P_R)로 나눈 값보다 크지 않은 최대 정수값으로 형성할 수 있다.

<39> 전술한 특징을 갖는 비균일 가중 주기 희박 어레이의 최적 설계 방법의 (a) 단계 및 (b) 단계에서, 상기 송신 희박 어레이의 주기(P_T)와 수신희박어레이의 주기(P_R)은 같지 아니하며, 상기 P_T와 P_R은 서로 소인 정수가 되도록, 송신 희박 어레이의 P_T와 L_T 및 수신 희박 어레이의 P_R과 L_R을 설정하거나,

<40> 상기 송신 희박 어레이의 주기(P_T)와 수신희박어레이의 주기(P_R)는 같지 아니하며, $P_T > P_R$이며, $L_T = P_R$ 이 만족되도록, 송신 희박 어레이의 P_T와 L_T 및 수신 희박 어레이의 P_R과 L_R을 설정하거나,

<41> 상기 송신 희박 어레이의 주기(P_T)와 수신희박어레이의 주기(P_R)는 같지 아니하며, P_T와 P_R이 서로 소가 아니고, L_T 또는 L_R이 P_T와 P_R의 최대 공약수가 되도록, 송신 희박 어레이의 P_T와 L_T 및 수신 희박 어레이의 P_R과 L_R을 설정하는 것이 바람직하다.

효 과

<42> 본 발명에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이의 성능을 평가하기 위해서 빔 패턴과 시편 영상, 그리고 실제 데이터를 이용한 영상에 대한 실험을 수행하였다. 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 I/2이고, 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.

<43> 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° ~45° 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.

<44> 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.

<45> 실험에 사용된 배열 변환자는 64개의 배열소자로 구성되어 있으므로, DBC의 최소값 정리를 이용하여 원하는 빔 패턴 성능을 갖기 위한 M1, M2, M3 각각의 주기 희박 어레이를 설계하였으며, 최종 빔 패턴의 그레이팅 로브가 -30dB이하로 억제되도록 설계하여 실험하였다. 따라서, DBC의 최소값이 10번째 측엽에 해당하는 거리보다 커야 하므로 희박 인자는 6이하여야만 한다.

<46> 실험에 사용된 비균일 가중 주기 희박 어레이는 균일 가중 주기 희박 어레이에 대한 M1, M2, M3에 설계 예들을 사용하여 구경 가중함수를 사용하지 않은 경우와 비교할 수 있도록 하였다.

<47> 연속파 빔 패턴의 실험에 앞서, 본 발명에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이의 구경 함수와 유효 구경을 살펴볼 필요가 있다. 도 12는 본 발명에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이의 구경 함수 및 유효 구경을 도시한 그래프로서, (a) 및 (b)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(3,1,2,1)$이며, (c) 및 (d)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(3,2,2,1)$이며, (e) 및 (f)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,2,2,1)$이다. 도 13은 본 발명에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이의 구경 함수 및 유효 구경을 도시한 그래프로서, (a) 및 (b)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,2,4,2)$이며, (c) 및 (d)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,5,4,1)$이다. 도 12과 도 13을 통해서 알 수 있듯이, 제안한 비균일 가중 주기 희박 배열의 유효 구경은 균일 가중 FSA의 유효 구경과 정확히 일치하지는 않지만, 균일 가중 주기 희박 어레이의 여러 경우의 유효 구경보다 매우 부드러운 창함수의 형태를 갖게 된다. 따라서, 본 발명에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이의 빔 패턴은 균일 가중 주기 희박 어레이보다 우수한 성능을 갖게 될 것이라고 예상할 수 있다. 다만, 공통 그레이팅 로브가 제거되지 않는 도 13의 (c) 내지 (d)의 경우는 유효 구경의 특성이 불연속점들을 가지고 있기 때문에 모든 그레이팅 로브가 제거될 수 없을 것이다.

<48> 이러한 예상은 각 경우에 대한 연속파 빔 패턴을 구해 봄으로써 확인할 수 있다. 도 14는 본 발명에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이의 연속파 빔 패턴을 도시한 그래프로서, (a)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(3,1,2,1)$이며, (b)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(3,2,2,1)$이며, (c)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,2,2,1)$이며, (d)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,2,4,2)$이며, (e)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,5,4,1)$이다. 도 14는 컴퓨터 모의 실험을 통해 구한 연속파 빔 패턴들이며, 앞의 해석과 유효 구경을 통한 예상과 같이 제안한 비균일 가중 주기 희박 어레이의 빔 패턴은 주엽폭은 거의 증가하지 않으면서 그레이팅 로브의 억제 효과가 10dB정도 향상됨을 알 수 있다.

<49> 한편, 본 발명에 따른 구경 가중 함수는 확장형에도 적용 가능하다. 반면에, 도 14의 (e)의 경우에는 본 발명에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이가 공통 그레이팅 로브를 제거할 수 없기 때문에 30dB이상의 높은 그레이팅 로브가 존재하게 된다.

<50> 따라서, 본 발명에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이는 전체적으로 균일 가중 주기 희박 어레이보다 빔 패턴의 성능을 향상시킬 수 있기 때문에, 균일 가중 주기 희박 어레이보다 희박 인자를 높일 수 있다. 이 경우 64개의 배열 소자로 구성된 변환자로 가정하였으므로, 수학식 9와 수학식 10에 의해 최대 P_T는 12이며, 그에 따른 P_R은 2가 된다. 본 실험에서는 균일 가중 주기 희박 어레이의 희박 인자보다 2배로 증가시킨 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(4,1,3,1)$과 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(12,2,2,1)$과 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,2,4,1)$의 경우를 살펴본다. 각각은 균일 가중 주기 희박 어레이에서 제안한 M1, M2, M3의 방법으로 설계한 경우에 해당한다.

<51> 각각의 경우에 대한 구경함수와 유효 구경은 도 15와 같다. 도 15는 본 발명에 따라 희박 인자를 2배로 증가시킨 경우의 비균일 가중 주기 희박 어레이의 구경 함수 및 유효 구경을 도시한 그래프로서, (a) 및 (b)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(4,1,3,1)$이며, (c) 및 (d)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(12,2,2,1)$이며, (e) 및 (f)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,2,4,1)$이다. 도 15를 통해 균일 가중 주기 희박 어레이보다 희박 인자가 2배 증가하더라도, 본 발명에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이는 FSA와 유사한 유효 구경을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그러나,

유효 구경 함수의 총합, 즉 신호의 에너지가 감소하게 되어 SNR이 감소할 것이다. 또한, 도 15의 각 경우에 대한 연속파 빔 패턴을 구하여 도 16에 나타내었다. 즉, 도 16은 본 발명에 따라 희박 인자를 2배로 증가시킨 경우의 비균일 가중 주기 희박 어레이의 연속파 빔 패턴을 도시한 그래프로서, (a)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(4,1,3,1)$이며, (b)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(12,2,2,1)$이며, (c)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,2,4,1)$이다. 도 16을 통해 모든 그레이팅 로브가 30dB이하로 억제되고 있음을 알 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<52> 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이의 최적 설계 방법을 구체적으로 설명한다.

<53> 일반 모델 설정

<54> 먼저, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 주기 희박 어레이를 해석하기 위하여 주기 희박 어레이에 대한 일반 모델을 설정한다. 도 2는 본 발명에 따른 주기 희박 어레이에 대한 일반 모델을 도시한 그림이다. 여기서, 실제 사용되는 소자는 빗금친 사각형으로 표시하였으며 모두 일정한 가중값을 갖는다. 또한, 이러한 송신 희박 어레이 및 수신 희박 어레이를 편의상 각각 $STA(P_T,L_T)$ 및 $SRA(P_R,L_R)$로 표시하도록 하며, 각각은 초음파 송신 및 수신시에 주기 P개의 소자 구간 내에서 연속하는 L개의 소자를 사용하는 경우를 나타내고, N_p는 P개의 소자 구간의 개수를 나타내며, 전체 구경의 크기는 $N_p \times P$ 이며, 실제 사용되는 소자의 갯수는 $N_p \times L$이 된다.

<55> 도 2에 나타낸 주기 희박 어레이의 집속 평면 또는 프라운호퍼 영역에서의 측방향 빔패턴은 수학식 2와 같이 쓸 수 있다.

수학식 2

$$\begin{aligned}\Psi_{P,L}(u') &\approx \Phi_e(u)\cdot\sum_{n=0}^{N_p-1}\sum_{l=0}^{L-1}\exp\{-jku'(Pd+l)n\}\\ &= \Phi_e(u)\cdot\sum_{n=0}^{N_p-1}\exp(-jku'Pdn)\cdot\sum_{l=0}^{L-1}\exp(-jku'dl)\\ &= \Phi_e(u)\cdot\Psi_P(u')\cdot W_L(u')\end{aligned}$$

<56>

<57> 여기서, $\Psi_P(u')=\dfrac{\sin(\pi N_P P du'/\lambda)}{\sin(\pi P du'/\lambda)}$ 및 $W_L(u')=\dfrac{\sin(\pi dLu'/\lambda)}{\sin(\pi du'/\lambda)}$ 이다.

<58> 수학식 2는 각 구간 내에서 실제 사용되는 연속한 L개의 소자가 독립적인 시간지연을 갖게 됨을 의미하며, 그에 따라 전체 배열에서 사용되는 모든 소자는 독립적인 시간지연이 적용된다. 수학식 2로부터, $\Psi_{P,L}(u')$의 빔 패턴은 매 P개마다 하나의 소자를 사용하는 경우의 빔 패턴인 $\Psi_P(u')$ 와 L개의 소자를 사용하는 FSA의 빔 패턴인 $W_L(u')$ 의 곱으로 구할 수 있음을 알 수 있다.

<59> 한편, 도 3은 FSA와 희박 어레이간의 측방향 빔 패턴의 차이를 분석하기 위하여 도시한 단방향 연속파 빔 패턴들로서, (a)는 FSA를 사용한 경우이며, (b)는 주기 희박 어레이를 사용한 경우이다. 도 3에서 $\Psi_{P,L}(u')$를 구성하는 함수 $\Psi_P(u')$, $W_L(u')$ 및 $\Phi_e(u)$를 각각 실선, 점선, 점쇄선으로 표시하였다. $\Psi_P(u')$의 주엽폭은 수학식 3과 같이 구할 수 있으며, 희박 어레이의 그레이팅 로브의 위치는 수학식 4으로부터 구할 수 있다.

수학식 3

$$\frac{2\lambda}{N_P Pd}=\frac{2\lambda}{N_{ch}d}$$

<60>

수학식 4

$\Psi_P(u')$ 의 그레이팅 로브 위치: $\frac{m\lambda}{Pd}$ $(m:\text{integer})$

<61>

<62> 위상 배열을 사용한 섹터 주사 방식에서 희박 배열 기법을 적용하는 경우, 초음파 영상에 사용되는 주요 범위인 $-\lambda/d < u' < \lambda/d$ 이외의 영역에서는 그레이팅 로브가 발생하지 않는다. 또한, 선형이나 곡선형 배열 변환자의 경우에는 주요 영역 외에서 양방향 빔 패턴에서의 $|\Phi_e(u)|^2$ 에 의해 그레이팅 로브가 무시할 정도로 작아진다. 따라서, 희박 배열의 해석 및 설계를 위해, 본 발명에서는 주요 영역내에 위치하는 그레이팅 로브를 초과 그레이팅 로브(excessive grating lobe)라 부르기로하고 이를 우선적으로 고려하기로 한다.

<63> 한편, L개의 연속된 소자에 의한 측방향 빔 패턴인 $W_L(u')$ 는 측방향 빔 패턴의 가중함수로 적용되며, 수학식 5에 의해 표현되는 위치에서 제로점(null position)을 갖는 특징이 있다.

수학식 5

$W_L(u')$의 제로점 : $\frac{l\lambda}{Ld}$ $(l:\text{integer})$

<64>

<65> 수학식 4와 수학식 5을 통해, L=P인 FSA의 경우에는 그레이팅 로브의 위치가 가중함수의 제로점과 정확히 일치하게 되어 모든 초과 그레이팅 로브가 제거될 것이고, 그 결과 $\Psi_P(u')$ 는 λ/d의 배수인 위치에서만 그레이팅 로브를 갖게 됨을 알 ㅅ수 있다. 또한, L≠P인 경우에서도 $q = n\lambda/Pd = m\lambda/Ld$ 에 위치하는 $\Psi_{P,L}(u')$의 초과 그레이팅 로브는 가중함수에 의하여 제거됨을 알 수 있다.

<66> 송수신 희박 어레이의 주기 및 사용배열소자 개수 설정

<67> 송신 및 수신 희박 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 희박 어레이의 패턴들은 같은 위치에서 그레이팅 로브를 발생시키지 않도록 해야만 한다. 본 명세서에서는 송신 그레이팅 로브와 수신 그레이팅 로브가 같은 위치에서 발생하여 최종 빔 패턴에 가장 큰 영향을 미치는 그레이팅 로브를 공통 그레이팅 로브(CGL: common grating lobe)로 부르기로 한다. 공통 그레이팅 로브와는 달리, 송신 또는 수신 희박 어레이의 다른 위치에 발생하는 초과 그레이팅 로브들은 수신 또는 송신 빔 패턴의 측엽에 의해서 감소될 여지가 있으므로, 공통 그레이팅 로브를 제거하거나 억제하면 주기 희박 어레이의 최종 빔 패턴을 최적화할 수 있다. 따라서, 주기 희박 어레이의 설계를 최적화시키기 위하여 필요한 2가지의 조건들을 설명한다. 본 명세서에서는 편의상 송신 및 수신 희박 어레이의 주기 P와 사용 배열 소자의 개수 L을 각각 (P_T,L_T) 및 (P_R,L_R)로 정의한다.

<68> 첫번째 조건 : 희박 어레이 설계 ($P_T>L_T$ & $P_R>L_R$ & $P_T \neq P_R$)

<69> 먼저, 송신 및 수신 모두 희박 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 희박 어레이의 쌍이 되기 위한 전제 조건은 $P_T \neq P_R$이다. 그 이유는 다음과 같다. $P_T=P_R$일 때, 송신 희박 어레이의 모든 초과 그레이팅 로브들은 수신 희박 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 수신 어레이 중에서 적어도 하나는 FSA가 되어야만 한다는 것을 의미한다. 따라서, 공통 그레이팅 로브가 제거될 수 있는 송신 및 수신 희박 어레이의 쌍을 설계하기 위해서는 P_T와 P_R이 반드시 다른 값을 가져야만 한다.

<70> 두번째 조건 : 공통 그레이팅 로브 제거

<71> 두번째 조건은, 송신 희박 어레이의 (P_T,L_T)가 수신 희박 어레이의 (P_R,L_R)과 쌍을 이뤘을 때, 다음의 세가지 경우에는 공통 그레이팅 로브가 발생하지 않게 되는 조건들로서, 아래의 M1, M2, M3의 3가지 방법이 존재한다.

<72> (M1) P_T와 P_R이 서로 소인 정수인 경우,

<73> (M2) 임의의 P_T와 P_R이 $P_T>P_R$이고 $L_T=P_R$인 경우,

<74> (M3) P_T와 P_R이 서로 소의 정수가 아니고, $P_T \neq P_R$인 경우에 대하여 L_T 또는 L_R이 P_T와 P_R의 최대 공약수인 경우에는 공통 그레이팅 로브가 발생하지 않게 된다. 이하, 위의 3가지 경우에 대해 각각 설명한다.

<75> 먼저 (M1)의 경우에 대하여 설명한다. 송신 희박 어레이와 수신 희박 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_T와 P_R이 서로 소인 경우 $n = kP_T$ 와 $m = kP_R \ (k = 1,2,\cdots)$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_T와 P_R이 서로 소인 경우 초음파 영상의 주요 범위내에서는 공통 그레이팅 로브가 존재하지 않게 된다.

<76> 다음, (M2)의 경우에 대하여 설명한다. 임의의 정수 P_T와 P_R을 고려하면, $P_T>P_R$이며, $L_T=P_R < P_T$가 되어 송신 어레이는 희박 어레이가 된다. 이 경우, $W_{L_T}(u')$이 $u' = n\lambda / P_R d$, $1 \leq n \leq P_R - 1$ 인 위치에서 제로점을 갖는다. 수신 희박 어레이의 초과 그레이팅 로브는 $W_{L_T}(u')$와 같은 위치에서 발생하기 따문에, 최종 빔패턴에서는 수신 그레이팅 로브들이 완전히 제거되어 공통 그레이팅 로브가 발생하지 않게 된다.

<77> 다음, (M3)의 경우에 대하여 설명한다. 1보다 큰 정수 n_0가 P_T와 P_R의 최대공약수라고 하면, 수학식 6과 같은 1 이외의 공약수를 갖지 않는 서로 소인 두 정수 k_T, k_R를 얻을 수 있게 된다.

수학식 6

<78>
$$k_T = P_T / n_0$$
$$k_R = P_R / n_0$$

<79> 여기서, $k_T / P_T = k_R / P_R = 1/n_0$ 이므로, $\frac{k_T}{P_T} \cdot \frac{\lambda}{d} = \frac{k_R}{P_R} \cdot \frac{\lambda}{d} = \frac{1}{n_0} \cdot \frac{\lambda}{d}$ 이 성립된다.

<80> 이로부터 송신 희박 어레이의 k_T번째 초과 그레이팅 로브의 위치와 수신 희박 어레이의 k_R번째 초과 그레이팅 로브의 위치가 $u' = \lambda / n_0 d$로 같은 위치에 존재함을 알 수 있다. 또한, k_T와 k_R은 서로 소의 관계이므로, 이 그레이팅 로브는 첫번째 공통 그레이팅 로브가 된다. 다시 말해서, 송신 희박 어레이의 매 k_T번째 그레이팅 로브와 수신 희박 어레이의 k_R번째 그레이팅 로브는 공통 그레이팅 로브가 된다. 즉, 공통 그레이팅 로브가 $u' = n\lambda / n_0 d, \ n \geq 1$에 위치하게 되며, 전체적으로 n_0-1개의 공통 그레이팅 로브가 존재한다. 그런데, L_T 또는 L_R이 P_T와 P_R의 최대 공약수 n_0이면, 가중함수의 제로점이 정확하게 $u' = n\lambda / n_0 d, \ n \geq 1$에 위치하게 되므로, 모든 공통 그레이팅 로브는 제거된다.

<81> 한편, 송신 희박 어레이와 수신 희박 어레이의 P_T와 P_R에 대하여 최대 공약수(n_0)가 n_0>1일 때, u'의 주요 범위에서 $(P_T,L_T)=(k_T,1)$ 와 $(P_R,L_R)=(k_R,1)$의 주기 희박 어레이와 같은 빔 패턴을 갖는 n_0-1의 등구간이 존재하게 된다. 그 이유는 다음과 같다. n_0가 P_T와 P_R의 최대 공약수인 경우, k_T와 k_R은 서로 소가 된다. 송신 희박 어레이의 k_T번째와 수신 희박 어레이의 k_R번째 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_0-1개의 구간으로 등분하면, m번째 구간은

$m\lambda/n_0 d \le u' \le (m+1)\lambda/n_0 d$, $(0 \le m \le n_0 - 1)$ 이 된다. 이 때 각 구간은 송신 빔 패턴의 경우 $\lambda/P_T d$ 간격의 k_T개의 구간으로 나누어지고, 수신 빔 패턴의 경우에는 $\lambda/P_R d$ 간격의 k_R개의 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 희박 어레이의 빔 패턴과 정확하게 같은 빔 패턴을 포함하고 있게 된다.

<82> 최적의 주기 희박 어레이 설계

<83> 지금까지 주기 희박 어레이의 빔 패턴을 최적화하기 위해서는 공통 그레이팅 로브가 제거되어야만 한다는 것을 설명하였으며, 공통 그레이팅 로브를 제거하는 3가지 방법을 설명하였다. 하지만, 각각의 경우에 해당하는 다양한 주기 희박 어레이 쌍이 존재할 수 있기 때문에 각각의 성능을 평가하기 위한 기준이 필요하다. 따라서, 본 발명에서는 희박 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 희박 어레이의 쌍을 결정하는 방법을 제공한다.

<84> 먼저, 공통 그레이팅 로브가 제거된 경우, L_T 또는 L_R은 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 희박 어레이의 희박 인자(SF)를 수학식 7과 같이 정의하고, 전체 희박 인자 SF를 수학식 8로 나타내기로 한다.

수학식 7

<85>
$$SF_T = \frac{P_T}{L_T}, SF_R = \frac{P_R}{L_R}$$

수학식 8

<86>
$$SF = SF_T \cdot SF_R = \frac{P_T}{L_T} \cdot \frac{P_R}{L_R}$$

<87> 수학식 7 및 수학식 8으로부터 희박 인자는 주기 내에서 실제 사용되는 소자의 개수가 적을수록 더 큰 값을 갖게 됨을 알 수 있다. 일반적으로 희박 어레이 기법을 사용하는 가장 큰 이유는 실제 사용되는 채널 수를 줄이기 위함으로써, 동등한 성능의 빔 패턴을 갖는 희박 어레이들 중에서는 SF가 큰 희박 어레이가 더욱 우수하다고 할 수 있다. 이러한 관점에서 본 명세서에서는 SF가 가장 크도록 L_T와 L_R을 최소값으로 사용하는 경우를 기본형으로 부르기로 한다. 따라서, 앞서 설명한 3가지의 경우 중 (M1)의 기본형은 L_T와 L_R이 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_T와 L_R이 최소값이 아닌 경우를 확장형으로 부르기로 한다.

<88> 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

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

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

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

<89>

<90> 공통 그레이팅 로브가 제거된 경우, 초과 송신 또는 수신 그레이팅 로브는 최종 빔 패턴에서 수신 또는 송신 빔 패턴의 측엽의 레벨이하로 제한된다. 여기서, 희박 어레이의 주요 빔 패턴이 sine함수와 유사한 형태이므로, 단방향 빔 패턴의 측엽은 주엽폭의 절반의 거리마다 발생하며, 주엽으로부터 멀리 떨어질수록 낮은 레벨을 갖는다. 도 4는 주요 빔 패턴의 각 측엽의 크기를 구하여 정리한 도표이다. 도 4를 통해 송신 또는 수신 빔 패턴의 10번째 측엽의 경우 대략 -30dB 정도의 레벨을 갖는다는 것을 알 수 있다.

<91> 한편, 공통 그레이팅 로브가 제거된 송신 희박 어레이 및 수신 희박 어레이의 기본형에 대한 빔 교차상쇄(DBC)의 최소값은 수학식 10으로 나타낼 수 있다.

수학식 10

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

<92>

<93> 이하, 수학식 10에 대하여 설명한다. $\min\left(\left| \frac{n\lambda}{P_T d} - \frac{m\lambda}{P_R d} \right| \right) = \min\left(\left| \frac{(nP_R - mP_T)\lambda}{P_T P_R d} \right| \right)$ 이므로, $\min\left(|nP_R - mP_T| \right)$ 을 구하도록 한다. 여기서, 정수 집합 $Z_R = \{P_R, 2P_R, \ldots, (P_T - 1)P_R\}$ 을 정의하면, $nP_R \in Z_R$이 되어, $\min\left(|nP_R - mP_T| \right)$ 은 Z_R의 각 원소를 P_T로 나눈 나머지의 최소값을 의미하게 된다. 이때, 전술한 3가지의 경우 중 (M1)의 경우, P_T와 P_R은 서로소이므로, 최소공배수는 $P_T \cdot P_R$이 되므로, Z_R의 모든 원소는 P_T로 나누어 떨어지지 않는다. 또한, Z_R의 두 원소 aP_R과 bP_R (단 a>b)에 대하여 $(a-b)P_R$은 다시 Z_R의 원소가 되기 때문에 역시 P_T로 나누어 떨어지지 않게 된다. 이로부터, Z_R의 모든 원소는 P_T로 나누어 떨어지지 않으며 P_T로 나누었을 때의 나머지가 모두 다른 값을 갖게 됨을 알 수 있다. 그러므로, Z_R의 원소 중에서 P_T로 나누었을 때 나머지가 1인 경우가 항상 존재한다. 즉 $\min\left(|nP_R - mP_T| \right) = 1$ 이 되므로, $\min\left(\left| \frac{(nP_R - mP_T)\lambda}{P_T P_R d} \right| \right) = \frac{\lambda}{P_T P_R d} = \frac{\lambda}{SF \cdot d}$ 가 된다.

<94> 한편, 전술한 3가지의 경우 중 (M2)의 경우, 모든 수신 그레이팅 로브가 제거된 경우이기 때문에 RGL(m)이 존재하지 않으므로, $\min\left(\left| \frac{n\lambda}{P_T d} - \frac{m\lambda}{P_R d} \right| \right) = \frac{\lambda}{P_T d} = \frac{\lambda}{SF \cdot d}$ 이 된다.

<95> 마지막으로, 전술한 3가지의 경우 중 (M3)의 경우, $\min\left(|nP_R - mP_T| \right) = \min\left(|nk_R - mk_T| \right) \cdot n_0$ 이다. 그런데, k_T와

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

<96> 수학식 10을 이용하여, 주기 희박 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.

<97> 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 전술한 방법들을 이용하여 그레이팅 로브가 원하는 만큼 억제된 다양한 주기 희박 어레이의 기본형 및 확장형을 설계할 수 있게 된다. 그러나, 이러한 주기 희박 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 비교해 보면, 이러한 두 예는 모두 전술한 방법 중 M3 경우에 대한 기본형이면서 SF=30으로 동일한 경우이다. 따라서, DBC의 최소값 정리에 의해 두 경우 모두 DBC의 최소값이 λ/30d 가 된다. 그러나, 전자의 경우 송신 및 수신 그레이팅 로브의 총 개수는 5+4 = 9개이고, 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 λ/6d 이지만, 후자의 경우에는 λ/10d 가 된다. 그러므로 최종 빔 패턴은 전자의 경우가 더 우수하다고 결정된다.

<98> 또한, 같은 희박 인자를 갖는 기본형들 중에서 송신 희박 인자와 수신 희박 인자가 비슷한 값을 갖는 경우가 가장 우수한 빔 패턴 성능을 갖게 된다. 따라서, 상기 희박 인자들이 동일하면, 각 쌍에 대하여 송신 희박 인자와 수신 희박 인자의 차이값을 계산하고, 상기 차이값이 가장 작은 송신 희박 어레이의 (P_T,L_T) 및 수신 희박 어레이의 (P_R,L_R)을 최종 결정할 수 있을 것이다.

<99> 또한, 동일한 희박 인자를 갖는 M1, M2, M3 의 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_T를 임의로 선택할 수 있기 때문에 가장 우수한 빔 패턴 성능을 갖는다.

<100> 구경 가중 함수 설계

<101> 도 5는 신호처리 관점에서 균일 가중 FSA의 구경 함수를 해석하기 위하여 도시한 그림이다. 균일 가중 FSA의 구경 함수는 신호처리 관점에서 도 5와 같이 해석될 수 있다. 따라서, 구경 D가 N 개의 배열 소자로 이루어진 경우, 빔 패턴의 주요특성을 나타내는 구경 함수 a0(n)은 일반적으로 D≫d ≒w 의 관계를 가지므로 수학식 11로 나타낼 수 있다. 도 6은 이러한 특성을 갖는 균일 가중 FSA의 구경함수를 도시한 것이다.

수학식 11

$$a_0(n) = \left[rect\left(\frac{x}{D}\right) comb\left(\frac{x}{d}\right)\right] = \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} \delta\left(\frac{x-n}{d}\right)$$

<102>

<103> 송신 집속점 또는 프라운호퍼 영역에서의 단방향 빔 패턴은 구경함수의 푸리에 변환으로 구할 수 있기 때문에, 수학식 11의 구경함수는 신호처리 관점에서 수학식 12으로 재해석될 수 있다. 여기서, $a_p(n)$은 주기가 p인 균일 가중 주기 희박 어레이를 의미하고, $h_0(p)$는 p개의 소자로 구성된 균일 가중 FSA의 구경함수를 의미한다. 따라서, 일반적인 균일 가중 FSA의 구경함수는 주기가 p인 균일 가중 주기 희박 어레이와 p개의 소자로 구성된 균일 가중 FSA의 구경함수의 콘볼루션과 같다. 따라서, 수학식 12를 이용하여 송수신 모두 균일 가중 FSA를 사용한 경우의 유효 구경은 수학식 13으로 나타낼 수 있다.

수학식 12

$$a_0(n) = \left[rect\left(\frac{x}{D}\right) comb\left(\frac{x}{d}\right) \right]$$
$$= \left[rect\left(\frac{x}{D}\right) comb\left(\frac{x}{Pd}\right) \right] * \left[rect\left(\frac{x}{Pd}\right) comb\left(\frac{x}{d}\right) \right]$$
$$= a_P(n) * h_0(p), p = 0,1,...,P-1$$

<104>

수학식 13

$$e(n) = a_0(n) * a_0(n)$$
$$= [a_{P_T}(n) * h_0(p_T)] * a_0(n)$$
$$= a_{P_T}(n) * [a_0(n) * h_0(p_T)]$$

<105>

<106> 수학식 13으로부터 송수신 구경 함수가 수학식 14 및 수학식 15와 같은 주기 희박 어레이에 대한 유효 구경은 균일 가중 FSA의 그것과 같게 되어, 그레이팅 로브가 발생하지 않게 됨을 알 수 있다.

수학식 14

$$a_T(n) = a_{P_T}(n)$$

<107>

수학식 15

$$a_R(n) = a_0(n) * h_0(p_T)$$

<108>

<109> 즉, 송신 주기가 PT인 균일 가중 주기 희박 어레이를 사용하는 경우, 수신 어레이로 N개의 소자로 구성된 FSA의 구경함수와 P_T개의 소자로 구성된 FSA의 구경함수를 콘볼루션한 함수를 구경 가중함수로 적용한 비균일 가중 FSA를 사용하면 그레이팅 로브를 제거할 수 있다. 이는 단방향 빔 패턴이 구경함수의 푸리에 변환으로 나타나므로, $h_0(P_T)$의 푸리에 변환의 결과가 $a_{PT}(n)$의 빔 패턴에서 나타나는 그레이팅 로브의 위치와 정확하게 일치하는 곳에서 제로점을 갖기 때문이다.

<110> 도 7은 p=4인 경우 송수신 구경함수 및 유효 구경을 나타낸 것이다. 수학식 13에서 해석한 바와 같이 유효 구경의 모양이 균일 가중 FSA의 유효 구경과 정확히 일치하는 모양을 갖게 됨을 알 수 있다. 또한, 도 8은 이러한 경우의 송신 및 수신 빔 패턴과 최종 빔 패턴을 나타내고 있다. 여기서, 송신 및 수신 빔 패턴은 점선과 쇄선으로, 최종 빔 패턴은 실선으로 각각 표시하였다. 마찬가지로, 수학식 13에서 해석한 바와 같이 최종 빔 패턴에서는 모든 그레이팅 로브가 55dB이하로 억제되고 있기 때문에 그레이팅 로브가 제거되었다고 할 수 있다. 또한, 도 1의 (a)와 비교하면 주엽폭은 거의 증가하지 않으면서 측엽의 레벨을 효율적으로 감소시킨 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

<111> 이는 임의의 주기를 갖는 균일 가중 송신 희박 어레이에 대하여 수신 구경함수가 수학식 15와 같은 비균일 가중 FSA를 사용하면 모든 그레이팅 로브가 제거된 최적의 빔 패턴을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 주엽폭을 거의 희생하지 않으면서 측엽의 레벨을 억제하는 효과를 얻을 수 있음을 의미한다. 또한, 이러한 구경 가중함수는 도 7의 (a)에서 알 수 있듯이 구경의 양쪽 끝부분만 가중하면 되고, 송신 주기에 해당하는 PT개의 값만으로 구성되기 때문에 매우 간단한 하드웨어로 구현이 가능하다.

<112> 이제, 주기가 p인 균일 가중 주기 희박 어레이의 구경함수 ap(n)을 신호처리 관점에서 해석해보자. 도 9는 주기가 p인 균일 가중 주기 희박 어레이의 신호 처리 모델이다. 이러한 구경함수는 도 9와 같이 J개의 배열소자를 사용하는 균일 가중 FSA의 구경함수 a0(j), j=0,1,2,...,j-1 를 p배로 업-샘플링(up-sampling)한 것과 같으며, 수학식 16으로 표현된다.

수학식 16

$$a_P(n)=\begin{cases}a_0(j) & ,n=Pj\\ 0 & ,otherwise\end{cases}$$

<113>

<114> 여기서, J는 전체 배열 변환자의 소자의 개수 N을 P로 나눈 값보다 크지 않은 최대 정수로서 수학식 17과 같다.

수학식 17

$$J=\left\lfloor\frac{N}{P}\right\rfloor$$

<115>

<116> 이러한 $a_p(n)$의 푸리에 변환 결과는 $a_0(j)$의 그것보다 p배로 좁아지는 대신, 1/p의 주기로 반복된다. 즉, 같은 채널수를 사용한 경우 주기 희박 어레이의 빔 패턴이 FSA의 그것보다 주엽폭은 p배로 감소하는 대신, 1/p의 주기로 그레이팅 로브가 발생하게 된다. 또한, 앞서 설명한 균일 가중 주기 희박 어레이의 일반 모델과 같이 p개의 주기 내에서 L개의 배열 소자를 사용한 경우의 송수신 구경함수는 도 10처럼 수학식 16의 구경함수에 L개의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수를 콘볼루션하여 얻을 수 있으므로 수학식 18과 같이 쓸 수 있다.

수학식 18

$$a_T(n)=a_{P_T}(n)*h_0(l_T),l_T=0,1,\ldots L_T-1$$
$$a_R(n)=a_{P_R}(n)*h_0(l_R),l_R=0,1,\ldots L_R-1$$

<117>

<118> 여기서, P_T와 P_R은 각각 송수신 주기이고, L_T와 L_R은 주기 내에서 사용되는 송수신 배열 소자의 개수를 나타내며, $h_0(l)$은 L개의 배열소자로 구성된 FSA의 구경함수를 의미한다. 따라서, $h_0(l)$의 푸리에 변환의 결과는 매 1/L마다 제로점을 갖는 신호가 되므로, 송수신 그레이팅 로브 중에서 이러한 위치에 있는 것들은 제거될 수 있다.

<119> 한편, 공통 그레이팅 로브를 제거할 수 있는 L_T와 L_R의 조건은 전술한 공통 그레이팅 로브 제거 방법을 따른다.

<120> 그런데, 수학식 16에서 주기가 p인 균일 가중 주기 희박 어레이의 구경함수는 신호처리 관점에서 균일 가중 FSA의 구경함수 $a_0(j)$를 p배로 업-샘플링한 것이므로, $a_0(j)$에 구경 가중함수를 적용한 후 p배로 업-샘플링하여도 자기 자신의 그레이팅 로브의 위치는 변화하지 않게 된다. 따라서, 전술한 공통 그레이팅 로브를 제거하기 위한 설계 조건은 여전히 유효하다. 이 때, $a_0(j)$에 적용한 송신 구경 가중함수가 모든 수신 그레이팅 로브를 제거할 수 있고, 수신 구경 가중함수가 모든 송신 그레이팅 로브를 제거할 수 있다면 최적의 구경 가중함수라 할 수 있을 것이다.

<121> 한편, M1, M2, M3의 기본형에 대해서 DBC, 즉 송신 그레이팅 로브와 수신 그레이팅 로브의 최소 거리는 $\lambda/SF\cdot d$이다. 그런데, M1의 경우 Z_R의 모든 원소는 P_T로 나누어 떨어지지 않고, P_T로 나누었을 때의 나머지가 모두 다른 값을 갖게 된다. 따라서, 수신 그레이팅 로브는 송신 그레이팅 로브에 대하여 $n\lambda/(P_TP_R)\cdot d$, n=1,2,...,P_T-1 만큼 떨어져 있음을 알 수 있다.이는 수신 그레이팅 로브가 인접한 두 송신 그레이팅 로브 사이를 P_R등분한 점에서 발생함을 의미한다. 그런데, 인접한 두 송신 그레이팅 로브 사이의 빔 패턴은 수학식 16의 $a_0(j)$의 빔 패턴과 정확히 일치하기 때문에, M1의 경우 a0(j)에 매 λ/P_Rd 마다 제로점을 갖도록 가중함수를 적용하고 P_R배로 업 샘플링하게 되면 모든 수신 그레이팅 로브가 제거될 수 있다. 마찬가지로, $a_0(j)$에 매 λ/P_Td마다 제로점을 갖도록 가중함수를 적용하고 P_R배로 업 샘플링하게되면 모든 송신 그레이팅 로브가 제거될 수 있다. 다만, M2의 경우에는 송신 그레이팅 로브만 존재하므로 수신 주기 희박 어레이에만 가중하면 되고, M3의 경우에는 송수신 주기 희박 어레이에 대해서 매 λ/k_Rd 및 λ/k_Td에서 제로점을 갖도록 하면 된다.

<122> 이러한 특성을 갖는 구경 가중함수는 수학식 6에서 사용된 방법을 이용하여 구할 수 있다. 즉, 송수신 구경 가

중함수 $w_T(j_T)$ 와 $w_R(j_R)$ 을 수학식 19와 같이 정의해보자.

수학식 19

$$w_{j_T}(j_T) = a_0(j_T') * h_0(p_R), j_T' = 0,1,\ldots,J_T' - 1$$
$$w_{j_R}(j_R) = a_0(j_R') * h_0(p_T), j_R' = 0,1,\ldots,J_R' - 1$$

<123>

<124> 이는 수학식 15에서 살펴본 바와 같이 비균일 가중함수가 된다. 여기서, J_T와 J_R은 수학식 17에 의해서 결정되는 값이며 $J_T' \geq P_R$이고 $J_R' \geq P_T$이어야만 콘볼루션 함수의 과도응답(transient response)이 발생하지 않으므로 수학식 20을 만족하여야 한다.

수학식 20

$$J_T \geq 2P_R - 1$$
$$J_R \geq 2P_T - 1$$

<125>

<126> 따라서, 수학식 20에 수학식 17을 대입하면, 주어진 구경의 크기에서 이러한 구경 가중 함수가 정의될 수 있는 최대 P_T와 P_R은 수학식 21 및 수학식 22와 같다.

수학식 21

$$\left\lfloor \frac{N}{P_T} \right\rfloor \geq 2P_R - 1$$
$$\therefore P_T \leq \left\lfloor \frac{N}{2P_R - 1} \right\rfloor$$

<127>

수학식 22

$$P_R \leq \left\lfloor \frac{N}{2P_T - 1} \right\rfloor$$

<128>

<129> 수학식 19 에서 송신 구경 가중함수 $w_{j_T}(j_T)$ 의 푸리에 변환 결과는 $1/P_R d$ 마다 제로점을 갖게 되며, 수신 구경 가중함수 $w_{j_R}(j_R)$ 의 푸리에 변환 결과는 $1/P_T d$ 마다 제로점을 갖는다.

<130> 이제, 수학식 19의 구경 가중함수를 각각 P_T 와 P_R배로 업-샘플링한 구경 가중함수 $w_{P_T}(n)$ 과 $w_{P_R}(n)$ 를 수학식 23과 같이 정의한다.

수학식 23

$$w_{P_T}(n) = \begin{cases} w_{j_T}(j_T) & , n = P_T j_T \\ 0 & , otherwise \end{cases}$$
$$w_{P_R}(n) = \begin{cases} w_{j_R}(j_R) & , n = P_R j_R \\ 0 & , otherwise \end{cases}$$

<131>

<132> 이러한 송수신 구경 가중함수의 푸리에 변환 결과를 각각 $W_{P_T}(f)$ 와 $W_{P_R}(f)$ 로 나타내면 $W_{P_T}(f)$ 는 $1/P_T d$ 의 주기로 그레이팅 로브를 갖게되며, $W_{P_R}(f)$ 는 $1/P_R d$ 의 주기로 그레이팅 로브를 갖게되어, 구경 가중함수가 그레이팅 로브의 위치에 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 또한, $W_{P_T}(f)$ 와 $W_{P_R}(f)$ 는 수학식 24 및 수학식 25에 표현된 위치에서 제로점을 갖는다.

수학식 24

$$W_{P_T}(f)\text{의 제로점}=\frac{i\lambda}{(P_T\cdot P_R)d}$$
$$i=1,2,\ldots,(P_T\cdot P_R-1),\ i\neq m_{P_T}P_R,$$
$$m_{P_T}=1,2,\ldots,P_T-1$$

<133>

수학식 25

$$W_{P_R}(f)\text{의 제로점}=\frac{i\lambda}{(P_T\cdot P_R)d}$$
$$i=1,2,\ldots,(P_T\cdot P_R-1),\ i\neq m_{P_R}P_T,$$
$$m_{P_R}=1,2,\ldots,P_R-1$$

<134>

<135> 수학식 24에 나타낸 송신 구경 가중함수의 제로점은 송신 그레이팅 로브의 위치를 제외한 매 $\lambda/(P_T\cdot P_R)d$ 마다 존재하고 있기 때문에 i가 P_T의 배수인 경우에는 수학식 19의 $w_{j_T}(j_T)$ 의 제로점과 같다. 또한 수학식 25의 수신 구경 가중함수의 제로점 역시 수신 그레이팅 로브의 위치를 제외하면 i가 P_R의 배수인 경우 수학식 19의 $w_{j_R}(j_R)$ 의 제로점과 같다. 그런데, 만일 송신 그레이팅 로브의 위치가 수신 그레이팅 로브의 위치와 일치하는 경우에는 수학식 23의 비균일 가중 주기 희박 어레이가 그 위치에서는 제로점을 갖을 수 없기 때문에 이러한 그레이팅 로브는 제거되지 않을 것이다. 하지만, 이러한 공통 그레이팅 로브는 전술한 균일 가중 주기 희박 어레이의 설계 방법들에 의해 제거할 수 있게 된다.

<136> 따라서, 본 발명에서 제안하는 최적의 비균일 가중 주기 희박 어레이는 도 10과 수학식19 및 수학식 23로부터 도 11 및 수학식 26과 같이 표현될 수 있다. 도 10은 균일 가중 주기 희박 어레이의 신호 처리 모델이며, 도 11은 본 발명에 따른 송수신 구경 가중 함수의 신호 처리 모델이다.

수학식 26

$$w_T(n)=w_{P_T}(n)*h_0(l_T)$$
$$w_R(n)=w_{P_R}(n)*h_0(l_R)$$

<137>

<138> 수학식 19 부터 수학식 26까지의 해석은 M1의 경우에 해당하는 것이지만, M2및 M3에 대해서도 몇가지 변수만 치환하면 동일하게 적용할 수 있다. 즉, M2의 경우에는 송신 그레이팅 로브만이 존재하므로 수학식 19에서 $w_{j_R}(j_R)$ 만 적용하면 되고, M3의 경우에는 수학식 19에서 $h(P_T)$와 $h(P_R)$ 대신 $h(k_T)$와 $h(k_R)$을 사용하면 된다.

<139> 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이는 $h_0(l_T)$ 및 $h_0(l_R)$ 에 의하여 모든 공통 그레이팅 로브를 제거할 수 있으며, $w_{P_T}(n)$ 및 $w_{P_R}(n)$ 에 의하여 그 외의 모든 초과 그레이팅 로브를 제거할 수 있는 특징을 가지고 있다. 따라서, 본 발명에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이는 균일 가중 주기 희박 어레이의 그레이팅 로브를 제거하기 위한 설계의 목적에 최적화된 비균일 가중 주기 희박 어레이라고 할 수 있다. 또한, 주엽폭의 크기는 거의 증가하지 않으면서도 측엽의 레벨을 낮추는 효과를 얻을 수 있고, 도 7의 경우에서도 확인할 수 있듯이 제안한 구경 가중함수는 구경함수의 최대값을 p등분한 값만으로 구성되어 있기 때문에 부가적인 하드웨어의 부담이 매우 적은 장점이 있다.

<140> 한편, 수신 희박 어레이의 주기(P_R)의 배수 개($n\times P_R$)의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(n\times P_R)$)를 구하고, 상기 구경 함수 $a_0(j_T)$와 상기 구경 함수 $h_0(n\times P_R)$를 컨볼루션한 후, 상기 P_T배로 업-샘플링한 가중함수($w_{PT}(n)$)을 이용하여 최종 송신 구경 가중 함수($W_T(n)$)를 결정하며, 송신 희박 어레이의 주기(P_T)의 배수개($m\times P_T$)의 배열 소자로 구성된 FSA의 구경함수($h_0(m\times P_T)$)를 구하고, 상기 구경 함수 $a_0(j_R)$와 상기 구경 함수 $h_0(m\times P_T)$를 컨볼루션한 후, 상기 P_R배로 업-샘플링한 가중 함수($w_{PR}(n)$)을 이용하여, 최종 수신 구경 가중 함수($W_R(n)$)를 결정할 수 있다.

<141> 이 경우, 비균일 가중 함수가 더 많은 개수의 레벨을 갖게 되므로 초과 그레이팅 로브를 더욱 억제할 수 있으나, 구현상 복잡도가 증가하고 신호대 잡음비가 저하되는 단점이 있다.

<142> 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

<143> 본 발명에 따른 주기 희박 어레이의 최적 설계 방법은 초음파 영상 시스템에 널리 사용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

<144> 도 1은 비균일 가중 FSA에 대한 단방향 빔 패턴으로서, (a)는 구경 가중함수를 사용하지 않은 경우의 단방향 빔 패턴이며, (b)는 해닝 창함수로 구경 가중함수를 사용한 경우에 대한 단방향 빔 패턴이다.

<145> 도 2는 본 발명에 따른 균일 가중 주기 희박 어레이에 대한 일반 모델을 도시한 그림이다.

<146> 도 3은 FSA와 희박 어레이간의 측방향 빔 패턴의 차이를 분석하기 위하여 도시한 단방향 연속파 빔 패턴들로서, (a)는 FSA를 사용한 경우이며, (b)는 주기 희박 어레이를 사용한 경우이다.

<147> 도 4는 주요 빔 패턴의 각 측엽의 크기를 구하여 정리한 도표이다.

<148> 도 5는 신호처리 관점에서 균일 가중 FSA의 구경 함수를 해석하기 위하여 도시한 그림이며, 도 6은 이러한 특성을 갖는 균일 가중 FSA의 구경함수를 도시한 것이다.

<149> 도 7은 p=4인 경우 송수신 구경함수 및 유효 구경을 나타낸 것이며, 도 8은 이러한 경우의 송신 및 수신 빔 패턴과 최종 빔 패턴을 나타내고 있다.

<150> 도 9는 주기가 p인 균일 가중 주기 희박 어레이의 신호 처리 모델이다.

<151> 도 10은 균일 가중 주기 희박 어레이의 신호 처리 모델이며, 도 11은 본 발명에 따른 송수신 구경 가중 함수의 신호 처리 모델이다.

<152> 도 12는 본 발명에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이의 구경 함수 및 유효 구경을 도시한 그래프로서, (a) 및 (b)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(3,1,2,1)$이며, (c) 및 (d)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(3,2,2,1)$이며, (e) 및 (f)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,2,2,1)$이다.

<153> 도 13은 본 발명에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이의 구경 함수 및 유효 구경을 도시한 그래프로서, (a) 및 (b)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,2,4,2)$이며, (c) 및 (d)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,5,4,1)$이다.

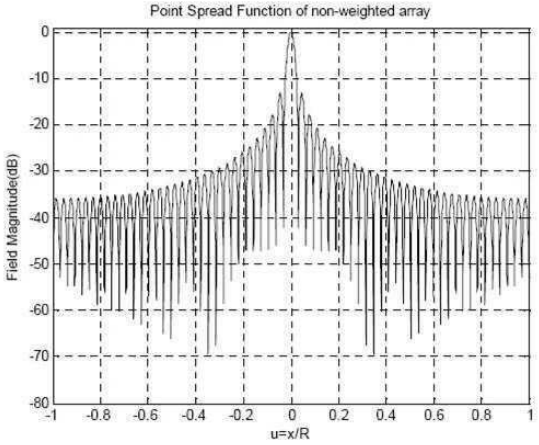
<154> 도 14는 본 발명에 따른 비균일 가중 주기 희박 어레이의 연속파 빔 패턴을 도시한 그래프로서, (a)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(3,1,2,1)$이며, (b)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(3,2,2,1)$이며, (c)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,2,2,1)$이며, (d)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,2,4,2)$이며, (e)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,5,4,1)$이다.

<155> 도 15는 본 발명에 따라 희박 인자를 2배로 증가시킨 경우의 비균일 가중 주기 희박 어레이의 구경 함수 및 유효 구경을 도시한 그래프로서, (a) 및 (b)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(4,1,3,1)$이며, (c) 및 (d)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(12,2,2,1)$이며, (e) 및 (f)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,2,4,1)$이다.

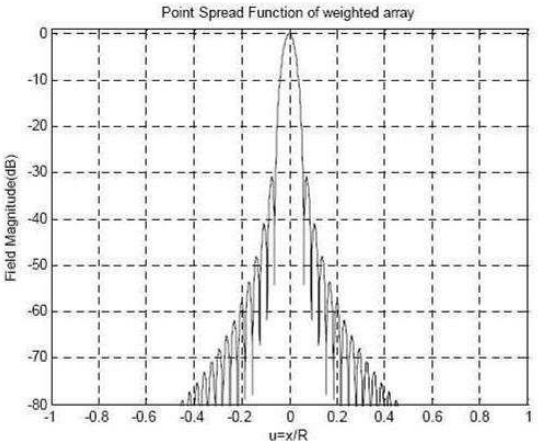
<156> 도 16은 본 발명에 따라 희박 인자를 2배로 증가시킨 경우의 비균일 가중 주기 희박 어레이의 연속파 빔 패턴을 도시한 그래프로서, (a)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(4,1,3,1)$이며, (b)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(12,2,2,1)$이며, (c)는 $(P_T,L_T,P_R,L_R)=(6,2,4,1)$이다.

도면

도면1

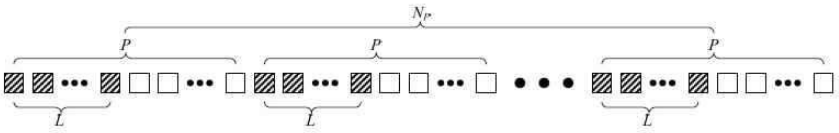

Point Spread Function of non-weighted array
Field Magnitude(dB)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-1
-0.8
-0.6
-0.4
-0.2
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
u=x/R

(a)

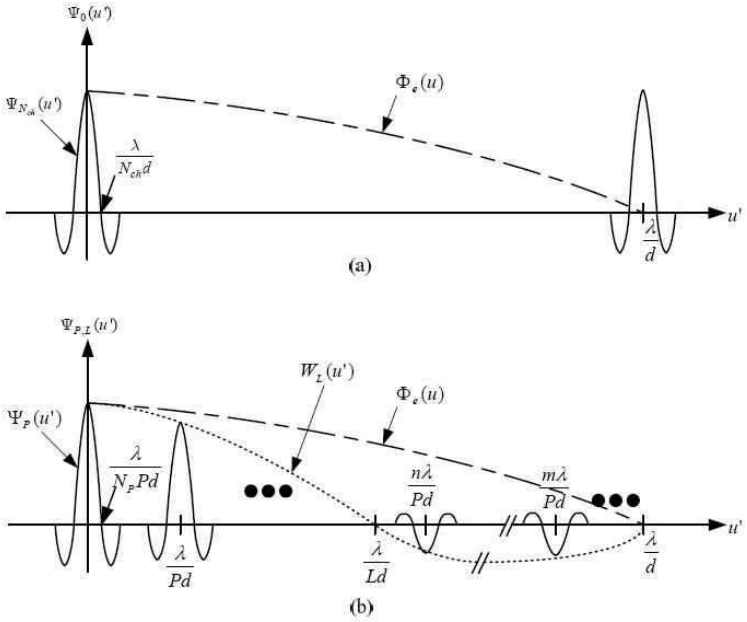

Point Spread Function of weighted array
Field Magnitude(dB)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-1
-0.8
-0.6
-0.4
-0.2
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
u=x/R

(b)

도면2


N_P
P
P
P
L
L
L

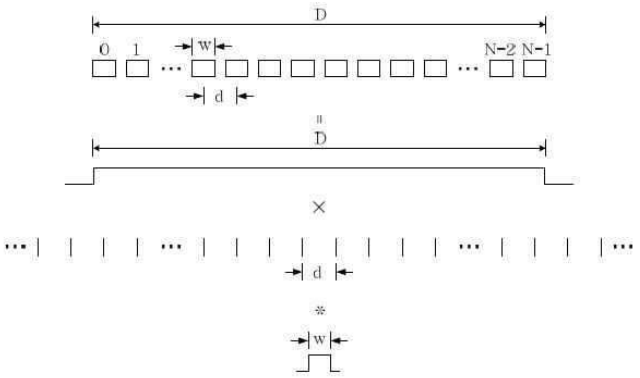
도면3



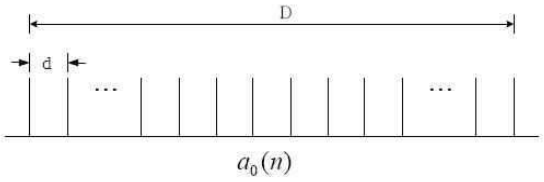
도면4

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

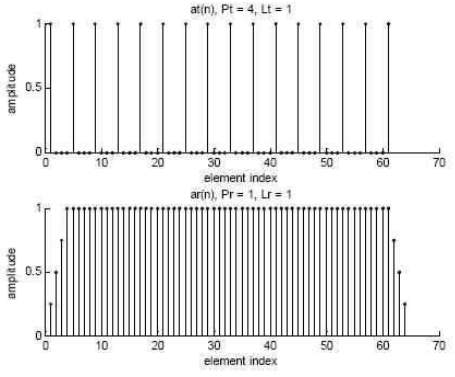
도면5



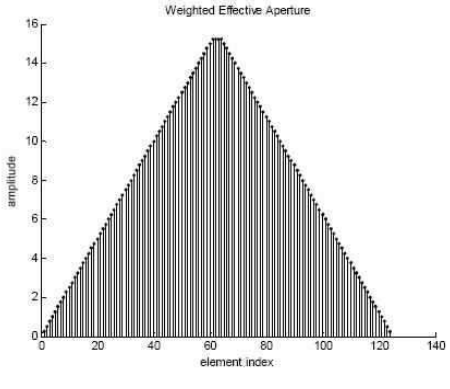
도면6



도면7

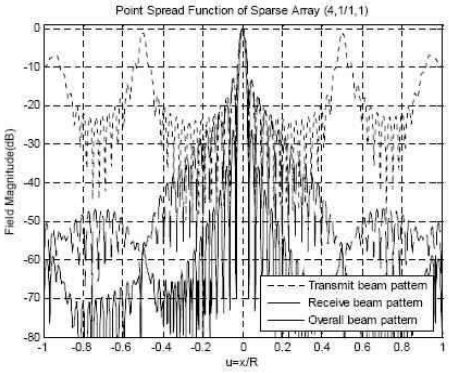


(a)

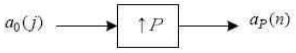


(b)

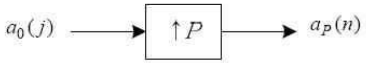
도면8



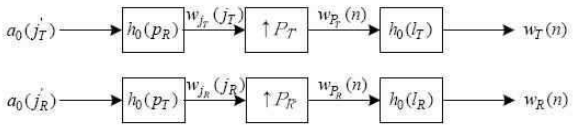
도면9



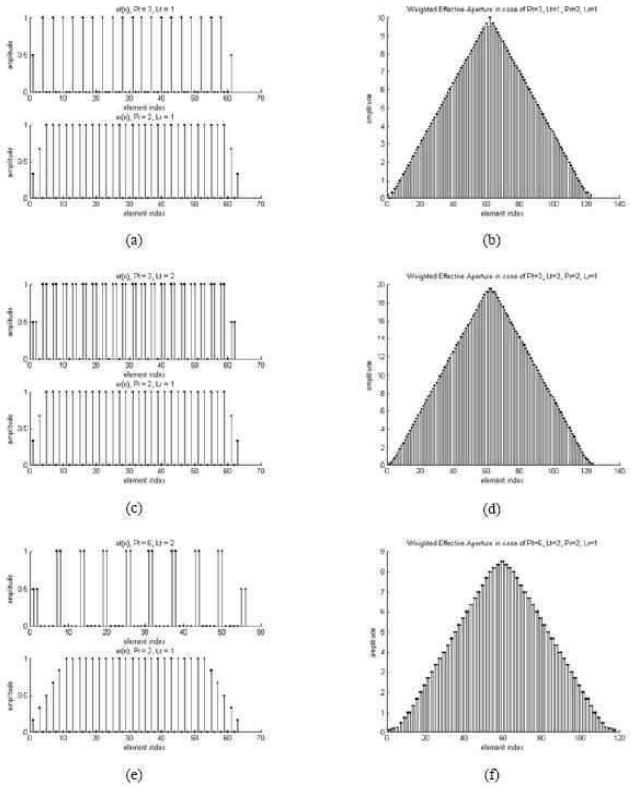
도면10



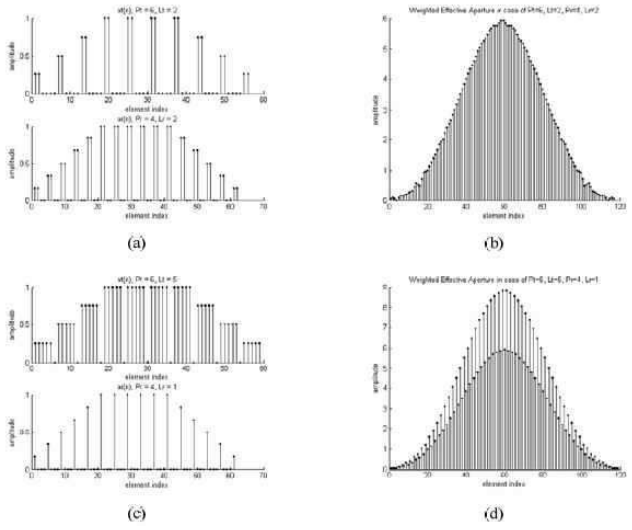
도면11



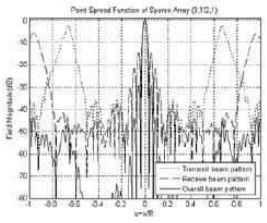
도면12



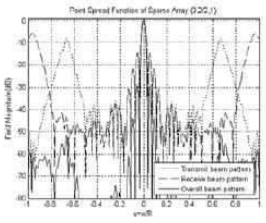
도면13



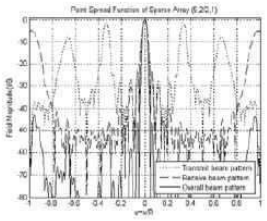
도면14



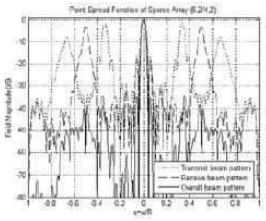
(a)



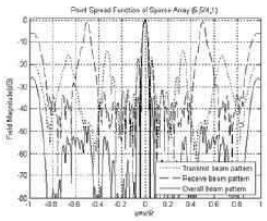
(b)



(c)

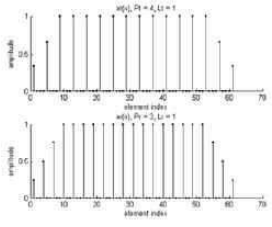


(d)

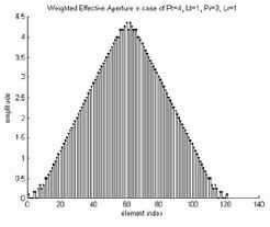


(e)

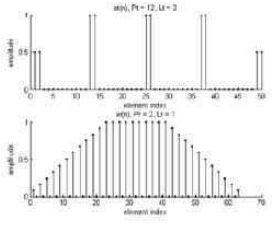
도면15



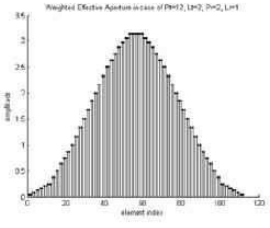
(a)



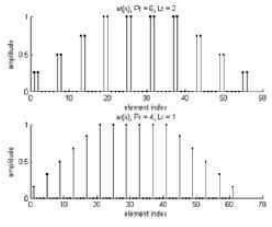
(b)



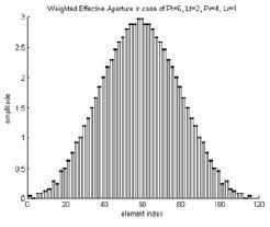
(c)



(d)

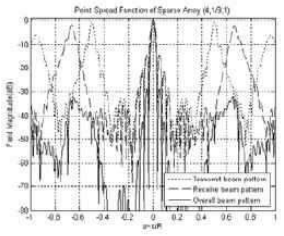


(e)

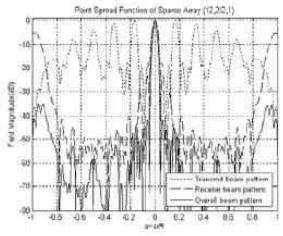


(f)

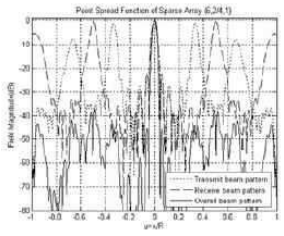
도면16


Point Spread Function of Sparse Array (6,1/3,1)
Transmit beam pattern
Receive beam pattern
Overall beam pattern

(a)


Point Spread Function of Sparse Array (12,2/3,1)
Transmit beam pattern
Receive beam pattern
Overall beam pattern

(b)


Point Spread Function of Sparse Array (6,2/4,1)
Transmit beam pattern
Receive beam pattern
Overall beam pattern

(c)