



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0121925
(43) 공개일자 2017년11월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

A61B 8/08 (2006.01)

(52) CPC특허분류

A61B 8/5269 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0050799

(22) 출원일자 2016년04월26일

심사청구일자 2016년04월26일

(71) 출원인

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

송대경

서울특별시 종로구 평창문화로 156, 101동 703호 (평창동, 롯데캐슬로잔아파트)

김필수

서울특별시 마포구 동교로8안길 35, 202호 (합정동, 미도맨션)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인충현

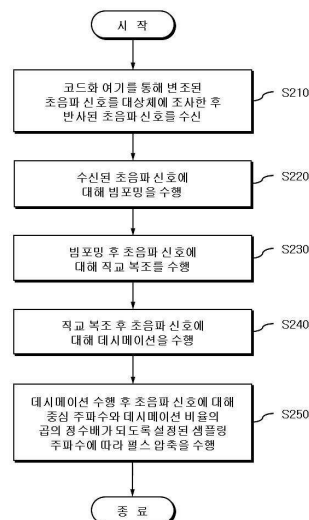
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 포스트-데시메이션 펄스 압축을 이용하는 초음파 신호 처리 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 포스트-데시메이션(post-decimation) 펄스 압축을 이용하는 초음파 신호 처리 장치 및 방법에 관한 것으로, 초음파 신호 처리 방법은, 코드화 여기를 통해 변조된 초음파 신호를 대상체에 조사한 후 반사된 초음파 신호를 수신하고, 수신된 초음파 신호에 대한 시간 지연을 통해 빔포밍(beamforming)을 수행하고, 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 직교 복조(quadrature demodulation)를 수행하고, 직교 복조 후 초음파 신호에 대해 표본화 데이터의 양을 감소시키는 데시메이션(decimation)을 수행하며, 데시메이션 수행 후 초음파 신호에 대해 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배가 되도록 설정된 샘플링 주파수에 따라 펄스 압축을 수행한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

정은지

경상남도 창원시 성산구 대정로 79, 109동 1107호
(남양동, 성원1차아파트)

배수아

서울특별시 서초구 서초대로64길 31, 902호 (서초동, 서초한일아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10053241

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 우수기술연구센터(ATC)사업

연구과제명 비뇨기과학 및 대장항문외과 전용임상을 지원하는 범용 초음파 진단기기 개발

기 여 율 1/2

주관기관 한국지이초음파 유한회사

연구기간 2015.06.01 ~ 2016.05.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2015M3D5A1065997

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 신시장창조차세대의료기기개발사업

연구과제명 고정밀·실시간 초음파 치료 모니터링 기법 개발

기 여 율 1/2

주관기관 서강대학교 산학협력단

연구기간 2015.11.01 ~ 2018.07.31

명세서

청구범위

청구항 1

코드화 여기(coded excitation)를 통해 변조된 초음파 신호를 대상체에 조사한 후 반사된 초음파 신호를 수신하는 단계;

수신된 상기 초음파 신호에 대한 시간 지연을 통해 빔포밍(beamforming)을 수행하는 단계;

빔포밍 후 초음파 신호에 대해 직교 복조(quadrature demodulation)를 수행하는 단계;

직교 복조 후 초음파 신호에 대해 표본화 데이터의 양을 감소시키는 데시메이션(decimation)을 수행하는 단계; 및

데시메이션 수행 후 초음파 신호에 대해 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배가 되도록 설정된 샘플링 주파수에 따라 펄스 압축을 수행하는 단계를 포함하는 초음파 신호 처리 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 펄스 압축을 위한 샘플링 주파수가 상기 초음파 펄스의 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배인 경우, 정수배가 아닌 경우에 비해 펄스 압축시 측방향 측엽(range sidelobe)의 발생을 억제하며 주엽(mainlobe)의 포락선의 크기를 상대적으로 증가시키는 것을 특징으로 하는 초음파 신호 처리 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 펄스 압축을 수행하는 단계는,

빔포밍 직후의 초음파 신호에 비해 데이터 레이트(data rate)가 상기 데시메이션 비율에 반비례하여 감소된 값을 갖는 것을 특징으로 하는 초음파 신호 처리 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 펄스 압축을 수행하는 단계는,

빔포밍 직후의 초음파 신호에 비해 펄스 압축을 위한 정합 필터의 탭(tap) 수가 상대적으로 적은 것을 특징으로 하는 초음파 신호 처리 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

빔포밍 후 초음파 신호에 대해 DC 리젝션(direct current rejection)을 수행하는 단계를 더 포함하는 초음파 신호 처리 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 펄스 압축을 수행하는 단계는,

빔포밍 후 초음파 신호에 대해 DC 리젝션과 직교 복조가 곱해진 신호를 각각 자기상관함수(auto-correlation)를 이용한 정합 필터를 통해 처리되는 것을 특징으로 하는 초음파 신호 처리 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 직교 복조를 수행하는 단계는,

빔포밍 후 초음파 신호에 대해 동상(in-phase) 성분 및 직교(quadrature) 성분을 분리하여 출력하는 것을 특징으로 하는 초음파 신호 처리 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

직교 복조 후 초음파 신호에 대해 저역통과필터(low pass filter, LPF)를 통해 안티-앨리어싱(anti-aliasing) 처리를 수행하는 단계를 더 포함하는 초음파 신호 처리 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

펄스 압축 후 초음파 신호에 대해 포락선 검파(envelope detection)를 수행하는 단계를 더 포함하는 초음파 신호 처리 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

포락선 검파 후 초음파 신호에 대해 스캔 변환(scan conversion)을 수행하는 단계를 더 포함하는 초음파 신호 처리 방법.

청구항 11

코드화 여기(coded excitation)를 통해 변조된 초음파 신호를 대상체에 조사한 후 반사된 초음파 신호를 수신하는 수신부;

수신된 상기 초음파 신호에 대한 시간 지연을 통해 빔포밍(beamforming)을 수행하는 빔 집속부;

빔포밍 후 초음파 신호에 대해 직교 복조(quadrature demodulation)를 수행하는 복조부;

직교 복조 후 초음파 신호에 대해 표본화 데이터의 양을 감소시키는 데시메이션(decimation)을 수행하는 데시메이션부; 및

데시메이션 수행 후 초음파 신호에 대해 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배가 되도록 설정된 샘플링 주파수에 따라 펄스 압축을 수행하는 펄스 압축부를 포함하는 초음파 신호 처리 장치.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 펄스 압축을 위한 샘플링 주파수가 상기 초음파 펄스의 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배인 경우, 정수배가 아닌 경우에 비해 펄스 압축시 측방향 측엽(range sidelobe)의 발생을 억제하며 주엽(mainlobe)의 포락선의 크기를 상대적으로 증가시키는 것을 특징으로 하는 초음파 신호 처리 장치.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 펄스 압축부는,

빔포밍 직후의 초음파 신호에 비해 데이터 레이트(data rate)가 상기 데시메이션 비율에 반비례하여 감소된 값을 갖는 것을 특징으로 하는 초음파 신호 처리 장치.

청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 펄스 압축부는,

빔포밍 직후의 초음파 신호에 비해 펄스 압축을 위한 정합 필터의 탭(tap) 수가 상대적으로 적은 것을 특징으로 하는 초음파 신호 처리 장치.

청구항 15

제 11 항에 있어서,

빔포밍 후 초음파 신호에 대해 DC 리젝션(direct current rejection)을 수행하는 DC 리젝션부를 더 포함하는 초음파 신호 처리 장치.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 펄스 압축부는,

빔포밍 후 초음파 신호에 대해 DC 리젝션과 직교 복조가 곁해진 신호를 각각 자기상관함수(auto-correlation)를 이용한 정합 필터를 통해 펄스 압축하는 것을 특징으로 하는 초음파 신호 처리 장치.

청구항 17

제 11 항에 있어서,

상기 복조부는,

빔포밍 후 초음파 신호에 대해 동상(in-phase) 성분 및 직교(quadrature) 성분을 분리하여 출력하는 것을 특징으로 하는 초음파 신호 처리 장치.

청구항 18

제 11 항에 있어서,

직교 복조 후 초음파 신호에 대해 안티-앨리어싱(anti-aliasing) 처리를 수행하는 저역통과필터(low pass filter, LPF)를 더 포함하는 초음파 신호 처리 장치.

청구항 19

제 11 항에 있어서,

펄스 압축 후 초음파 신호에 대해 포락선 검파(envelope detection)를 수행하는 포락선 검파부를 더 포함하는 초음파 신호 처리 장치.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

포락선 검파 후 초음파 신호에 대해 스캔 변환(scan conversion)을 수행하는 스캔 변환부를 더 포함하는 초음파 신호 처리 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 초음파 신호 처리 기술에 관한 것으로서, 특히 의료용 초음파 영상 생성 장치에서 코드화 여기 및 수신된 코드화 신호의 펄스 압축에 대한 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 초음파(ultrasound, US) 영상은 초음파 프로브(probe)를 이용하여 인체 내의 관찰 영역에 초음파 신호를 조사하

고 조직으로부터 반사되어 돌아오는 초음파 신호를 수신하여 그 신호에 포함된 정보를 추출함으로써 관찰 영역에 대한 해부학적인 정보를 영상화하는 장치로써 인체에 무해하고 실시간 영상이 가능하다는 장점을 갖는다.

[0003] 초음파 신호는 반사(reflection), 흡수(absorption), 산란(scattering) 등의 이유로 인체 내에서 진행함에 따라 신호의 감쇄(attenuation)가 일어나게 되며 이는 신호 대 잡음비(Signal-to-noise ratio, SNR)를 저하시키는 결과를 초래한다. 특히 이러한 신호 대 잡음비의 저하는 초음파 신호의 침투도(penetration)의 저하를 야기하게 되어 초음파 영상에서의 진단 영역의 깊이를 제한하게 될 뿐 아니라, 관찰 영역에 대한 영상 화질을 열화시킴으로써 병변에 대한 진단의 정확성 및 효율을 떨어트리게 한다. 이 때문에 의료용 초음파 기기의 성능 향상과 더불어 진단의 정확성 향상을 위해 신호 대 잡음비를 개선하고자 하는 노력이 계속되어 왔다.

[0004] 초음파 의료 영상에서 신호 대 잡음비를 증가시키기 위해 조사하는 초음파 압력(pressure)의 세기를 크게 함으로써 신호 대 잡음비의 향상을 이룰 수 있으나, 의료용 초음파 영상 장치에서는 인체 내로 조사할 수 있는 최대 압력을 특정 기계적 인덱스(Mechanical index)로 제한하고 있기 때문에 초음파 압력을 크게 하는 것은 신호 대 잡음비를 향상시키는 방법으로 적합하지 않다. 또한, 신호 대 잡음비 향상은 전송되는 펄스의 지속 시간(duration)을 증가시킴으로써 달성될 수 있으나, 긴 펄스 지속 기간은 축 방향 해상도의 저하를 야기한다.

[0005] 의료 초음파 영상에서, 높은 신호 대 잡음비(signal to noise ratio, SNR) 및 공간 해상도는 이미지 품질을 향상시키기 위해 중요하다. 높은 신호 대 잡음비는 전송되는 펄스의 지속 기간을 증가시킴으로써, 즉 시간적으로 긴 펄스를 전송함으로써 달성할 수 있다. 그러나, 긴 펄스 지속 기간(duration)은 TBP(time-bandwidth product)에 의해 결정되는 축 방향 해상도의 저하를 야기함이 선행기술문헌 1을 통해 제시된 바 있다. 전송 펄스의 대역폭은 펄스 지속 기간과 반비례하기 때문에 종래의 초음파 영상의 TBP는 1에 가깝다. 높은 신호 대 잡음비 및 공간 해상도를 얻기 위해 TBP는 증가되어야만 한다.

[0006] 한편, 높은 TBP를 제공할 수 있는 코드화 여기는 축 방향 해상도의 희생 없이 신호 대 잡음비를 증가시킬 수 있다. 이전의 실험들로부터, 코드화 여기(coded excitation)는 신호 대 잡음비를 15-20 dB까지 증가시킬 수 있음이 선행기술문헌 2를 통해 확인된 바 있다. 이후, 펄스 압축 메커니즘의 측면에서 다양한 코드화 여기 기술에 대한 집중적인 연구들이 수행되었으나, 여전히 하드웨어의 복잡도 내지 데이터 왜곡 문제로 인해 실제 초음파 영상 시스템의 구현에 장애가 되고 있다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0007] (비특허문헌 0001) A. W. Rihaczek, Principles of high-resolution radar. New York: McGraw-Hill, 1969.
(비특허문헌 0002) M. O'Donnell, "Coded excitation system for improving the penetration of real-time phased-array imaging systems," IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr., vol. 39, pp. 341-351, May 1992.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 실시예들이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 종래의 코드화 여기 기법에서 펄스 압축의 수행 위치에 따라, RF 데이터 채널의 수만큼 펄스 압축이 요구됨으로써 하드웨어 복잡도가 증가하는 부담을 해소하고, 펄스 압축하고자 하는 대상 신호의 높은 데이터 레이트로 인하여 압축 필터의 탭(tap) 수가 증가하거나 데이터 왜곡으로 인해 압축 성능이 저하되는 한계를 극복하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 방법은, 코드화 여기(coded excitation)를 통해 변조된 초음파 신호를 대상체에 조사한 후 반사된 초음파 신호를 수신하는 단계; 수신된 상기 초음파 신호에 대한 시간 지연을 통해 빔포밍(beamforming)을 수행하는 단계; 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 직교 복조(quadrature demodulation)를 수행하는 단계; 직교 복조 후 초음파 신호에 대해 표본화 데이터의 양을 감소시키는 데시메이션(decimation)을 수행하는 단계; 및 데시메이션 수행 후 초음파 신호에 대해 중

심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배가 되도록 설정된 샘플링 주파수에 따라 펄스 압축을 수행하는 단계를 포함한다.

- [0010] 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 방법은, 상기 펄스 압축을 위한 샘플링 주파수가 상기 초음파 펄스의 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배인 경우, 정수배가 아닌 경우에 비해 펄스 압축시 측방향 측엽(range sidelobe)의 발생을 억제하며 주엽(mainlobe)의 포락선의 크기를 상대적으로 증가시킨다.
- [0011] 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 방법에서, 상기 펄스 압축을 수행하는 단계는, 빔포밍 직후의 초음파 신호에 비해 데이터 레이트(data rate)가 상기 데시메이션 비율에 반비례하여 감소된 값을 갖는다.
- [0012] 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 방법에서, 상기 펄스 압축을 수행하는 단계는, 빔포밍 직후의 초음파 신호에 비해 펄스 압축을 위한 정합 필터의 탭(tap) 수가 상대적으로 적은 것이 바람직하다.
- [0013] 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 방법은, 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 DC 리젝션(direct current rejection)을 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다. 또한, 상기 펄스 압축을 수행하는 단계는, 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 DC 리젝션과 직교 복조가 곱해진 신호를 각각 자기상관함수(auto-correlation)를 이용한 정합 필터를 통해 처리될 수 있다.
- [0014] 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 방법에서, 상기 직교 복조를 수행하는 단계는, 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 동상(in-phase) 성분 및 직교(quadrature) 성분을 분리하여 출력할 수 있다.
- [0015] 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 방법은, 직교 복조 후 초음파 신호에 대해 저역통과필터(low pass filter, LPF)를 통해 안티-앨리어싱(anti-aliasing) 처리를 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0016] 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 방법은, 펄스 압축 후 초음파 신호에 대해 포락선 검파(envelope detection)를 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다. 또한, 포락선 검파 후 초음파 신호에 대해 스캔 변환(scan conversion)을 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0017] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 장치는, 코드화 여기(coded excitation)를 통해 변조된 초음파 신호를 대상체에 조사한 후 반사된 초음파 신호를 수신하는 수신부; 수신된 상기 초음파 신호에 대한 시간 지연을 통해 빔포밍(beamforming)을 수행하는 빔 집중부; 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 직교 복조(quadrature demodulation)를 수행하는 복조부; 직교 복조 후 초음파 신호에 대해 표본화 데이터의 양을 감소시키는 데시메이션(decimation)을 수행하는 데시메이션부; 및 데시메이션 수행 후 초음파 신호에 대해 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배가 되도록 설정된 샘플링 주파수에 따라 펄스 압축을 수행하는 펄스 압축부를 포함한다.
- [0018] 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 장치는, 상기 펄스 압축을 위한 샘플링 주파수가 상기 초음파 펄스의 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배인 경우, 정수배가 아닌 경우에 비해 펄스 압축시 측방향 측엽(range sidelobe)의 발생을 억제하며 주엽(mainlobe)의 포락선의 크기를 상대적으로 증가시킨다.
- [0019] 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 장치에서, 상기 펄스 압축부는, 빔포밍 직후의 초음파 신호에 비해 데이터 레이트(data rate)가 상기 데시메이션 비율에 반비례하여 감소된 값을 갖는다.
- [0020] 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 장치에서, 상기 펄스 압축부는, 빔포밍 직후의 초음파 신호에 비해 펄스 압축을 위한 정합 필터의 탭(tap) 수가 상대적으로 적은 것이 바람직하다.
- [0021] 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 장치는, 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 DC 리젝션(direct current rejection)을 수행하는 DC 리젝션부를 더 포함할 수 있다. 또한, 상기 펄스 압축부는, 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 DC 리젝션과 직교 복조가 곱해진 신호를 각각 자기상관함수(auto-correlation)를 이용한 정합 필터를 통해 펄스 압축할 수 있다.
- [0022] 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 장치에서, 상기 복조부는, 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 동상(in-phase) 성분 및 직교(quadrature) 성분을 분리하여 출력할 수 있다.
- [0023] 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 장치는, 직교 복조 후 초음파 신호에 대해 안티-앨리어싱(anti-aliasing) 처리를 수행하는 저역통과필터(low pass filter, LPF)를 더 포함할 수 있다.
- [0024] 일 실시예에 따른 초음파 신호 처리 장치는, 펄스 압축 후 초음파 신호에 대해 포락선 검파(envelope detection)를 수행하는 포락선 검파부를 더 포함할 수 있다. 또한, 포락선 검파 후 초음파 신호에 대해 스캔 변

환(scan conversion)을 수행하는 스캔 변환부를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0025] 본 발명의 실시예들은 코드화 여기 기법에 따른 펄스 압축 과정을 포스트-데시메이션의 위치로 선택함으로써 저 사양 환경에서도 낮은 데이터 레이트로 펄스 압축을 용이하게 처리할 수 있고, 정합 필터의 탭(tap) 수를 감소 시킴으로써 하드웨어의 복잡도를 낮출 수 있을 뿐만 아니라, 샘플링 주파수가 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배가 되도록 설정함으로써 압축 성능의 저하를 방지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 위상 변조(phase modulation) 코드에 따른 펄스 압축과 그 결과를 예시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 포스트-데시메이션(post-decimation) 펄스 압축을 이용하는 초음파 신호 처리 방법을 도시한 흐름도이다.

도 3은 코드화 여기를 이용한 초음파 영상 처리 과정에서 펄스 압축이 수행될 수 있는 다양한 위치를 예시한 도면이다.

도 4는 골레이(Golay) 코드를 이용한 송신 펄스의 파형을 예시한 도면이다.

도 5는 포스트-빔포밍(post-beamforming) 위치에서의 펄스 압축 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 포스트-데시메이션(post-decimation) 위치에서의 펄스 압축 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 도 6의 데시메이션 배율에 기반한 코드 압축 필터의 파형을 예시한 도면이다.

도 8은 포스트-빔포밍 위치와 포스트-데시메이션 위치에서의 펄스 압축의 성능을 비교하기 위한 도면이다.

도 9는 샘플링 주파수의 유형에 따른 코사인(cosine) 펄스의 성능을 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 샘플링 주파수의 유형에 따라 포스트-빔포밍 위치와 포스트-데시메이션 위치에서의 펄스 압축의 결과를 비교하기 위한 도면이다.

도 11은 샘플링 주파수의 유형에 따라 포스트-빔포밍 위치와 포스트-데시메이션 위치에서의 측방향 측엽(range sidelobe)과 주엽(mainlobe)의 포락선 크기를 비교하기 위한 도면이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 포스트-데시메이션(post-decimation) 펄스 압축을 이용하는 초음파 신호 처리 장치를 도시한 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 본 발명의 실시예들을 설명하기에 앞서, 초음파 영상 기술 분야에서 활용되는 코드화 여기 기법을 간략히 소개한 후, 의료 현장에서 이를 운용하는 경우, 특히 펄스 압축(pulse compression)의 수행 시점에 관하여 발생하는 문제점과 한계를 극복하기 위해 본 발명의 실시예들이 채택하고 있는 기술적 수단을 순차적으로 제시하도록 한다.

[0028] 도 1은 위상 변조(phase modulation) 코드에 따른 펄스 압축과 그 결과를 예시한 도면이다. 코드화 여기 방식은 코드화된 초음파 신호를 송신하여 반사되는 신호를 자기 상관 함수(autocorrelation)를 이용한 정합 필터 등의 방법을 통하여 펄스 압축을 수행한다. 비코드화 시퀀스(uncoded sequence)의 경우 정합 필터링을 수행하면 도 1에 예시된 바와 같이 신호의 강도(intensity)가 커지고 측방향 해상도가 저하된다. 바커(Barker) 코드에서는 비코드화 시퀀스와 마찬가지로 신호의 강도가 커지고 측방향 해상도가 향상되지만 측방향으로 측엽(range sidelobe)이 발생한다. 골레이(Golay) 코드에서는 두 번의 송수신 과정을 통해 수신된 에코(echo) 신호에 대해 각각 압축 과정을 거쳐 이를 더한다. 따라서 신호의 강도는 바커 코드에 비해 두 배 증가하며 골레이 코드의 특성에 따라 이상적인 경우 측방향 측엽을 완전히 제거할 수 있다. 그러나 두 번의 송수신 과정을 거치므로 프레임 레이트(frame rate)가 저하되는 단점이 존재한다.

[0029] 따라서, 코드화 여기 기법에서 채택하는 코드의 유형에 따라 발생할 수 있는 단점을 해소하면서도 펄스 압축 성능을 극대화할 수 있는 전략적인 초음파 신호 처리 전략이 요구된다. 이를 위해, 본 발명의 실시예들은 코드 압축 과정을 성능 저하 없이 수행하기 위해 그 수행 위치를 변조(demodulation) 및 데시메이션(decimation) 이후에 수행함으로써 데이터 레이트를 낮추고 하드웨어 복잡도를 줄이면서도, 포스트-빔포밍(post-beamforming) 위

치에서 나타나는 성능과 동일한 수준의 압축 성능을 갖도록 하는 것을 목적으로 한다.

- [0030] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 구체적으로 설명하도록 한다. 도면에 표기된 동일한 부재 번호는 동일한 구성을 나타낸다.
- [0031] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 포스트-데시메이션(post-decimation) 펄스 압축을 이용하는 초음파 신호 처리 방법을 도시한 흐름도로서, 코드화 여기 기법에 따라 다양하게 설정될 수 있는 펄스 압축의 위치를 데시메이션 수행 이후에 처리하는 방식을 채택하였다.
- [0032] S210 단계에서, 초음파 신호 처리 장치는, 코드화 여기(coded excitation)를 통해 변조된 초음파 신호를 대상체에 조사한 후 반사된 초음파 신호를 수신한다.
- [0033] S220 단계에서, 상기 초음파 신호 처리 장치는, S210 단계를 통해 복수 개의 채널로부터 수신된 상기 초음파 신호에 대한 시간 지연을 통해 빔포밍(beamforming)을 수행함으로써 집속된 초음파 신호를 생성한다.
- [0034] S230 단계에서, 상기 초음파 신호 처리 장치는, S220 단계의 빔포밍 후 집속된 초음파 신호에 대해 직교 복조(quadrature demodulation)를 수행한다. 이러한 과정을 통해, 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 동상(in-phase) 성분 및 직교(quadrature) 성분을 분리하여 출력하게 된다.
- [0035] 한편, S230 단계의 직교 복조 후 초음파 신호에 대해 저역통과필터(low pass filter, LPF)를 통해 안티-앨리어싱(anti-aliasing) 처리를 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0036] S240 단계에서, 상기 초음파 신호 처리 장치는, S230 단계의 직교 복조 후 초음파 신호에 대해 표본화 데이터의 양을 감소(또는 데이터 레이트의 감소를 의미한다)시키는 데시메이션(decimation)을 수행한다.
- [0037] S250 단계에서, 상기 초음파 신호 처리 장치는, S240 단계의 데시메이션 수행 후 초음파 신호에 대해 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배가 되도록 설정된 샘플링 주파수에 따라 펄스 압축을 수행한다. 이때, 상기 펄스 압축을 위한 샘플링 주파수가 상기 초음파 펄스의 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배인 경우, 정수배가 아닌 경우에 비해 펄스 압축시 측방향 측엽(range sidelobe)의 발생을 억제하며 주엽(mainlobe)의 포락선의 크기를 상대적으로 증가시키는 효과를 갖는다. 특히, 본 과정을 통해 빔포밍 직후의 초음파 신호에 비해 데이터 레이트(data rate)가 상기 데시메이션 비율에 반비례하여 감소된 값을 갖는다. 따라서, 펄스 압축을 수행하는 본 과정은, 빔포밍 직후의 초음파 신호에 비해 펄스 압축을 위한 정합 필터의 탭(tap) 수가 상대적으로 감소하게 된다.
- [0038] 한편, S220 단계의 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 DC 리젝션(direct current rejection)을 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다. 따라서, 펄스 압축을 수행하는 S250 단계는, 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 DC 리젝션과 직교 복조가 곁해진 신호를 각각 자기상관함수(auto-correlation)를 이용한 정합 필터를 통해 처리되는 것이 바람직하다.
- [0039] 또한, S250 단계의 펄스 압축 후 초음파 신호에 대해 포락선 검파(envelope detection)를 수행하는 단계 내지 포락선 검파 후 초음파 신호에 대해 스캔 변환(scan conversion)을 수행하는 단계를 더 포함할 수도 있다.
- [0040] 도 3은 코드화 여기를 이용한 초음파 영상 처리 과정에서 펄스 압축이 수행될 수 있는 다양한 위치(A, B, C 위치)를 예시한 도면으로서, 각 위치별 장단점을 비교하고, 최종적으로 본 발명의 실시예들이 'C' 위치를 선택함으로써 나타날 수 있는 기술적 특징을 설명한다.
- [0041] 'A' 위치는 프리-빔포밍(pre-beamforming) 위치로서, 각 RF 데이터 채널에서 수신된 초음파 신호에 대해 빔 집속(310) 이전에 펄스 압축을 수행하므로 정확한 압축 특성을 갖는다. 그러나 복수 개의 채널 각각에 대해 펄스 압축을 수행해야 하므로 하드웨어 복잡도가 높다는 약점을 갖는다.
- [0042] 'B' 위치는 포스트-빔포밍(post-beamforming) 위치로서, 빔 집속(310) 이후에 펄스 압축을 수행하게 된다. 따라서, 'A' 위치에 해당하는 프리-빔포밍의 위치와 동일한 압축 성능을 갖기 위해서는 정확한 빔 집속 성능이 요구된다. 반면 포스트-빔포밍의 위치는 단일의 압축 필터를 이용하기 때문에 프리-빔포밍의 경우에 비해 압축 필터의 하드웨어 복잡도가 $\frac{1}{N_{channel}}$ 배 감소한다.
- [0043] 'C' 위치는 포스트-데시메이션(post-decimation) 위치로서, DC 리젝션(direct current rejection)(320), 직교 복조(quadrature demodulation)(330), 저역통과필터(low pass filter, LPF)(340) 내지 데시메이션(350)의 수행 이후에 펄스 압축이 위치한다. 이와 같이 데시메이션 이후에 펄스 압축을 수행할 경우, 'B' 위치에 비해 비록

필터의 개수가 두 배로 증가하지만 데시메이션의 수행에 따라 상대적으로 낮은 데이터 레이트(data rate)에서 필터링을 수행할 수 있다는 장점을 갖는다. 특히, 'C' 위치의 경우 낮은 데이터 레이트로 인해 필터의 탭(tap) 수를 줄일 수 있으며, 펄스 압축 및 그 이후 과정을 스마트폰을 비롯한 별도의 시스템에서 용이하게 수행할 수 있다. 다만, 'C' 위치에서 펄스 압축 수행 시, 복조(demodulation)(330) 및 데시메이션(decimation)(350) 과정에서 생긴 데이터의 왜곡이 펄스 압축에 반영되므로 압축 성능이 포스트-빔포밍의 위치에 비해 저하되는 단점을 갖는다.

[0044] 앞서 도 2를 통해 설명한 바와 같이, 본 발명의 실시예들은 'C' 위치에 따른 포스트-데시메이션 방식을 채택하고 있으므로, 이상에서 지적된 약점들을 해소할 수 있는 기술적 수단을 보완함으로써 본 방식의 장점만을 취하고자 한다.

[0045] 이하에서는 설명의 편의를 위해 4 사이클 골레이 코드(4 cycle golay code)를 이용하여 각각의 실시예들을 설명하되, 이때 사용한 골레이 코드는 A, B 코드 각각 $[1 \ 1 \ 1 \ -1]$ 및 $[1 \ 1 \ -1 \ 1]$ 를 이용하였다. 그러나 이들 실시예는 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 해당 실시예에 제한되지 않음을 밝힌다.

[0046] 먼저 송신 파형을 정의하자. 선택한 골레이 A, 골레이 B 코드는 다음의 수학식 1과 같이 정의된다. 이 때 L은 선택한 코드의 길이를 의미하며, 본 실시예의 길이는 4이고 N은 한 주기에 해당하는 샘플(sample)의 수이다.

수학식 1

$$a(n) = \sum_{i=0}^{L-1} a_i \cdot \delta(n - iN)$$

$$b(n) = \sum_{i=0}^{L-1} b_i \cdot \delta(n - iN)$$

[0047]

[0048] 송신하고자 하는 펄스의 파형을 선택하여 위의 골레이 코드와 컨볼루션(convolution) 연산을 통해 변조하여 수학식 2와 같은 송신 펄스 $a_s(n)$, $b_s(n)$ 를 생성하였으며, 골레이 코드를 이용하여 생성된 송신 펄스의 파형은 도 4을 통해 예시하였다.

수학식 2

$$a_s(n) = a(n) * c(n)$$

$$b_s(n) = b(n) * c(n)$$

$$\text{where } c(n) = \prod \left(\frac{n-N}{N} \right) \cdot \sin 2\pi f_0 n$$

[0049]

[0050] 이제, 포스트-빔포밍과 포스트-데시메이션 각각의 위치에서 펄스 압축을 수행하는 경우에 대해 그 압축 결과를 비교하기 위하여 각각의 방법에 대한 연산 과정의 블록도를 순차적으로 (1), (2) 및 (3)의 과정을 통해 변형하였다.

[0052] (1) 포스트-빔포밍 위치에서의 펄스 압축에 대한 블록도 변형

[0053] 도 5는 포스트-빔포밍(post-beamforming) 위치에서의 펄스 압축 과정을 설명하기 위한 도면으로, 도 5의 (a)에서와 같이 일반적으로 포스트-빔포밍 위치에 있는 골레이 코드의 펄스 압축부(510)를 컨볼루션의 교환법칙에 따라 도 5의 (b)와 같이 DC 리젝션 필터(DC rejection filter, DCR)(520) 뒤로 변형할 수 있다.

[0054] 구체적으로 보면, 수학적 식 2의 송신 펄스 $a_s(n)$ 를 송신한 후, 반사되는 초음파 신호를 변환자의 각 채널을 통해 수신한 후 수신된 각 채널의 초음파 신호를 빔 집속하여 $a_{bf}(n)$ 로 정의한다. 여기서 컨볼루션을 이용한 필터링 연산의 분배법칙(distributive law)과 교환법칙(Commutative law)에 따라 다음의 수학적 식 3과 같이 변형될 수 있다.

수학적 식 3

$$\begin{aligned} r_{s0}(n) &= \{a_{bf}(n) * MatchedA0(n) + b_{bf}(n) * MatchedB0(n)\} * DCR(n) \\ &= \{a_{bf}(n) * MatchedA0(n) * DCR(n) + b_{bf}(n) * MatchedB0(n) * DCR(n)\} \\ &= \{a_{bf}(n) * DCR(n) * MatchedA0(n) + b_{bf}(n) * DCR(n) * MatchedB0(n)\} \end{aligned}$$

[0055] 이에 따라 수학적 식 3은 최종적으로 도 5의 (b)의 블록도와 같이 변형될 수 있다.

[0058] (2) 포스트-데시메이션 위치에서의 펄스 압축에 대한 블록도 변형

[0059] 도 6은 포스트-데시메이션(post-decimation) 위치에서의 펄스 압축 과정을 설명하기 위한 도면으로서, 도 6의 (a)에 도시된 블록도에서 포스트-데시메이션 위치에 있는 펄스 압축부(610)의 위치를 다음의 수학적 식 4와 같이 저역통과필터(Low pass filter, LPF)(620)와 데시메이션(630) 앞으로 변경할 수 있다.

수학적 식 4

$$\begin{aligned} I_{pdc}(n) &= I_{a.pdc}(n) + I_{b.pdc}(n) = \{I_{ad}(nM) * LPF(nM)\} * MatchedA1(n) + \{I_{bd}(nM) * LPF(nM)\} * MatchedB1(n) \\ &= \{I_{ad}(nM) * MatchedA1^M(nM) * LPF(nM)\} + \{I_{bd}(nM) * MatchedB1^M(nM) * LPF(nM)\} \\ &= \{I_{ad}(nM) * MatchedA1^M(nM) + I_{bd}(nM) * MatchedB1^M(nM)\} * LPF(nM) \end{aligned}$$

[0060] 수학적 식 4는 I_{pdc} data에 대해 나타내었으며 Q_{pdc} data 역시 동일하게 성립한다. 수학적 식 4에서 각 정합 필터를 이용한 코드 압축 필터의 위치를 교환법칙에 따라 도 6의 (b)와 같이 변경하기 위하여 $MatchedA1(n)$, $MatchedB1(n)$ 를 데시메이션 배율 M(M은 자연수)만큼 업-샘플링(up-sampling)하여 $MatchedA1^M(n)$ 와 $MatchedB1^M(n)$ 로 나타내었으며 데시메이션 배율 M = 2일 때의 각 코드 압축 필터의 파형을 도 7을 통해 예시하였다. 여기서, 샘플링 주파수가 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수 배일 때, $MatchedA1^M(n)$ 과 $MatchedA0(n)$, 그리고 $MatchedB1^M(n)$ 과 $MatchedB0(n)$ 는 일치한다. 또한, 도 6의 (c)와 같이 결합법칙을 통해 코드 압축 결과를 합한(610+630→615) 후 저역통과필터(620)를 수행할 수도 있다.

[0063] (3) 압축 필터 위치에 따른 성능 비교를 위한 최종 블록도의 차이 확인

[0064] 도 8은 상기 (1)의 결과에 따른 포스트-빔포밍 위치와 상기 (2)의 결과에 따른 포스트-데시메이션 위치에서의 펄스 압축의 성능을 비교하기 위한 도면으로서, 도 8의 (a)에서의 각 블록도의 출력인 $I_{d.pbf}(n)$ 와 $I_{d.pdc}(n)$, 그리고 $Q_{d.pbf}(n)$ 와 $Q_{d.pdc}(n)$ 의 값을 비교하는 것과 같다. 이를 이용하여 두 구조에 따른 압축 결과를 수식으로 나타내어 두 펄스 압축 방식이 차이를 가짐을 확인하고자 한다.

[0065] 포스트-빔포밍 위치에서 펄스 압축을 수행하는 경우는 곱셈의 분배법칙에 따라 다음의 수학적 식 5와 같이 나타낼

수 있다.

수학식 5

$$I_{d.pbf}(n) = \{a_{dcr}(n) * MatchedA0(n) + b_{dcr}(n) * MatchedB0(n)\} \times \cos(2\pi f_0 n + \theta) \\ = \{a_{dcr}(n) * MatchedA0(n)\} \times \cos(2\pi f_0 n + \theta) + \{b_{dcr}(n) * MatchedB0(n)\} \times \cos(2\pi f_0 n + \theta)$$

또한, 포스트-데시메이션 위치에서 펄스 압축을 수행하는 경우 샘플링 주파수가 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배일 때, $MatchedA1^M(n)$ 과 $MatchedA0(n)$, 그리고 $MatchedB1^M(n)$ 과 $MatchedB0(n)$ 이 동일하기 때문에 다음의 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$I_{d.pdc}(n) = \{a_{dcr}(n) \times \cos(2\pi f_0 n + \theta)\} * MatchedA1^M(n) + \{b_{dcr}(n) \times \cos(2\pi f_0 n + \theta)\} * MatchedB1^M(n) \\ = \{a_{dcr}(n) \times \cos(2\pi f_0 n + \theta)\} * MatchedA0(n) + \{b_{dcr}(n) \times \cos(2\pi f_0 n + \theta)\} * MatchedB0(n)$$

이때, 곱셈과 컨볼루션의 교환법칙이 성립하지 않으므로 포스트-빔포밍 위치에서의 펄스 압축과 포스트-데시메이션 위치에서의 펄스 압축은 그 결과가 같지 않다. 즉, 도 8의 (b)에서 두 블록도는 같은 펄스 압축 성능을 갖지 않는다. 따라서 도 8의 (a)의 두 블록도를 이용하여 포스트-빔포밍 위치 및 포스트-데시메이션 위치에서 펄스 압축 수단의 위치에 따른 코드 압축 성능을 비교하고자 한다.

(4) 포스트-빔포밍 위치에서의 펄스 압축

포스트-빔포밍 위치에서 펄스 압축을 수행한 후 복조를 위하여 cosine 및 -sine를 곱하는 과정은 도 8의 (a)의 왼쪽 블록도와 같으며 펄스 압축 과정은 다음의 수학식 7과 같다.

수학식 7

$$A_0(n) = a_{dcr}(n) * MatchedA0(n) \\ = a_{dcr}(n) * a(N - n) = a(n) * a(N - n) * c(n)$$

$$B_0(n) = b_{dcr}(n) * MatchedB0(n) \\ = b_{dcr}(n) * b(N - n) = b(n) * b(N - n) * c(n)$$

$$r_{s0}(n) = A_0(n) + B_0(n) = \{a(n) * a(N - n) + b(n) * b(N - n)\} * c(n) \\ = 2L \cdot \delta(n - \tau) * c(n) \\ = 2L \cdot c(n - \tau)$$

수학식 7에서, L은 사용하는 코드의 길이를 의미하며, 여기서는 L = 4이다. N은 한 주기에 해당하는 샘플(sample)의 수이다. 위의 과정을 통해 압축 결과를 확인할 수 있으며 그 결과는 c(n)과 동일한 형태를 가지되 진폭이 2L(=8)배 증가하는 것을 확인할 수 있다.

이제 초음파 신호의 복조를 위하여 압축된 펄스에 cosine, -sine이 곱하면 다음의 수학식 8과 같다.

수학식 8

$$I_{d.pbf}(n) = r_{s0}(n) \times \cos(2\pi f_0 n + \theta) = 2L \cdot c(n - \tau) \times \cos(2\pi f_0 n + \theta)$$

$$Q_{d.pbf}(n) = r_{s0}(n) \times -\sin(2\pi f_0 n + \theta) = 2L \cdot c(n - \tau) \times -\sin(2\pi f_0 n + \theta)$$

따라서 도 8의 (a)의 왼쪽 블록도의 과정을 통해 얻은 결과는 $c(n)$ 에 cosine, -sine을 곱한 형태가 된다.

(5) 포스트-데시메이션 위치에서의 펄스 압축

포스트-데시메이션 위치에서의 펄스 압축의 과정은 도 8의 (a)의 오른쪽 블록도에 나타내었으며, 다음의 수학식 9와 같다.

수학식 9

$$\begin{aligned} I_{d.pdc}(n) &= \{a_{dcr}(n) \times \cos(2\pi f_0 n + \theta)\} * MatchedA1^M(n) + \{b_{dcr}(n) \times \cos(2\pi f_0 n + \theta)\} * MatchedB1^M(n) \\ &= \{a_{dcr}(n) \times \cos(2\pi f_0 n + \theta)\} * MatchedA0(n) + \{b_{dcr}(n) \times \cos(2\pi f_0 n + \theta)\} * MatchedB0(n) \\ &= \{a_{dcr}(n) \times \cos(2\pi f_0 n + \theta)\} * a(N - n) + \{b_{dcr}(n) \times \cos(2\pi f_0 n + \theta)\} * b(N - n) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{d.pdc}(n) &= \{a_{dcr}(n) \times -\sin(2\pi f_0 n + \theta)\} * MatchedA1^M(n) + \{b_{dcr}(n) \times -\sin(2\pi f_0 n + \theta)\} * MatchedB1^M(n) \\ &= \{a_{dcr}(n) \times -\sin(2\pi f_0 n + \theta)\} * MatchedA0(n) + \{b_{dcr}(n) \times -\sin(2\pi f_0 n + \theta)\} * MatchedB0(n) \\ &= \{a_{dcr}(n) \times -\sin(2\pi f_0 n + \theta)\} * a(N - n) + \{b_{dcr}(n) \times -\sin(2\pi f_0 n + \theta)\} * b(N - n) \end{aligned}$$

결과적으로 포스트-데시메이션 위치에서의 펄스 압축은 $a_{dcr}(n)$ 와 $b_{dcr}(n)$ 에 cosine 및 -sine이 곱해진 신호를 각각 정합필터링하여 더함으로써 펄스 압축하는 것과 같다.

이때, 곱해지는 cosine 펄스를 도시하면 도 9의 (a)와 같으며 샘플링 주파수(f_s)가 초음파 펄스의 중심 주파수(f_0)와 데시메이션 비율(M)의 곱의 정수배일 때와 아닐 때로 나누어 살펴볼 수 있다. f_s 가 $f_0 \cdot M$ 의 정수배일 때, 즉 $f_s = k \cdot f_0 \cdot M$ 에서는 도 9의 (a)의 위쪽 그림과 같이 2π 만큼의 위상이 지난 후에 같은 위상을 가진 신호가 반복하여 나타난다. 그러나 도 9의 (a)의 아래쪽 그림과 같이 $f_s \neq k \cdot f_0 \cdot M$ 인 경우에는 2π 만큼의 위상이 지난 후에 위상이 틀어지므로 반복적이지 않고 서로 다른 다음 주기의 신호가 나타난다. 이는 -sine 펄스 역시 마찬가지로 적용된다.

송수신 과정에서 신호의 왜곡이 없었다고 가정한다면, DC 리젝션 필터를 수행한 골레이 코드의 수신 신호는 각

$$a_{dcr} = \sum_{i=0}^{L-1} a_i \cdot c(n - iN) \quad b_{dcr} = \sum_{i=0}^{L-1} b_i \cdot c(n - iN)$$

이고 $L = 4$ 이므로 도 9의 (b), (c)에서

와 같이 a_{dcr} 은 $[c(n), c(n), c(n), -c(n)]$ 로, b_{dcr} 은 $[c(n), c(n), -c(n), c(n)]$ 으로

표현 가능하다. 해당 신호에 도 9의 (b), (c)와 같이 cosine을 곱하여 I_{ad} , I_{bd} 신호를 구한다. 이때, $f_s \neq k \cdot f_0 \cdot M$ 인 경우 cosine 펄스가 매 주기마다 위상이 틀어진 형태로 신호가 나타나므로 도 9의 (b), (c)와 같이 cosine 펄스를 송신 펄스의 한 주기씩 나눠 $\cos 0$, $\cos 1$, $\cos 2$, $\cos 3$ 으로 표현 가능하다.

따라서 그 결과인 I_{ad} 은 $X0(= a_0 \cdot c(n) \cdot \cos 0)$, $X1$, $X2$, $-X3$ 으로, I_{bd} 은 $X0$, $X1$, $-X2$, $X3$ 으로 표현 가능하며, 이 과정을 도 10의 (a)의 왼쪽에서 정리하여 나타내었다.

- [0086] 도 10의 (b)의 왼쪽에서는 정합필터링 과정을 나타내었으며 이를 합한 결과가 곧 펄스 압축의 결과이며 도 10의 (c)의 왼쪽에서와 같이 표현할 수 있다. 이때, X_0 과 X_2 , X_1 과 X_3 이 같지 않으므로 $2X_0-2X_2$ 와 $2X_1-2X_3$ 이 0이 되지 않는다. 즉, 측방향 측엽이 제거되지 않는다. 따라서 포스트-빔포밍 위치에서 펄스 압축을 수행한 후 cosine 펄스를 곱한 것과 cosine 펄스를 곱한 후 포스트-데시메이션 위치에서 펄스 압축을 수행한 것의 결과가 다르다. 이는 -sine 펄스에서도 마찬가지이므로 Q 데이터에 대해서도 동일하게 적용된다.
- [0087] 반면 $f_s = k \cdot f_0 \cdot M$ 일 때에는 cosine 펄스에서 매 주기마다 같은 값들이 반복되므로 도 10의 (a)에서의 오른쪽과 같이 cosine 펄스를 $\cos 0, \cos 0, \cos 0, \cos 0$ 으로 표현 가능하다. DC 리젝션 필터를 수행한 콜레이코드의 수신 신호는 마찬가지로 a_{dcr} 은 $[c(n), c(n), c(n), -c(n)]$ 로, b_{dcr} 은 $[c(n), c(n), -c(n), c(n)]$ 으로 표현 가능하다. 따라서 a_{dcr} 과 b_{dcr} 에 각각 cos 펄스를 곱한 결과인 I_{ad} 은 $X_0, X_0, X_0, -X_0$ 로, I_{bd} 은 $X_0, X_0, -X_0, X_0$ 로 표현 할 수 있으며 이 과정을 도 10의 (a)에서의 오른쪽과 같이 정리하여 나타내었다.
- [0088] 도 10의 (b)에서는 정합필터링 과정을 나타내었으며 이를 합한 결과인 도 10의 (c)가 곧 펄스압축의 결과이다. 이때, $f_s \neq k \cdot f_0 \cdot M$ 의 경우와 달리 $f_s = k \cdot f_0 \cdot M$ 의 조건에서는 측방향 측엽이 제거된다. 따라서 $f_s = k \cdot f_0 \cdot M$ 에서는 포스트-빔포밍 위치에서 펄스 압축을 수행한 후 cosine 펄스를 곱한 것과 cosine 펄스를 곱한 후 포스트-데시메이션 위치에서 펄스 압축을 수행한 것의 결과가 동일하다. 즉, $f_s = k \cdot f_0 \cdot M$ 일 때는 포스트-빔포밍 위치에서의 펄스 압축과 포스트-데시메이션 위치에서의 펄스 압축의 성능이 동일하다.
- [0089] 포스트-빔포밍 및 포스트-데시메이션 위치에서 $f_s = k \cdot f_0 \cdot M$ 와 $f_s \neq k \cdot f_0 \cdot M$ 인 경우에 대해 펄스 압축을 수행한 후 포락선 검파(envelope detection)를 수행한 결과를 비교하면 도 11과 같다. 도 11를 참조하면, $f_s \neq k \cdot f_0 \cdot M$ 인 경우 포스트-데시메이션 위치에서 펄스 압축시 측방향 측엽(range sidelobe)이 나타나며 주엽(mainlobe)의 포락선의 크기가 작아지는 것을 확인할 수 있다. 반면 $f_s = k \cdot f_0 \cdot M$ 인 경우 포스트-빔포밍 위치에서와 포스트-데시메이션 위치의 펄스 압축 결과가 일치한다.
- [0090] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 포스트-데시메이션(post-decimation) 펄스 압축을 이용하는 초음파 신호 처리 장치(10)를 도시한 블록도로서, 도 2의 초음파 신호 처리 방법의 각 수행 과정을 하드웨어를 통해 구현하는 관점에서 기술하였다. 따라서, 설명의 중복을 피하기 위해 여기서는 각 구성의 기능을 약술하도록 한다.
- [0091] 수신부(12)는, 변조부(11)로부터 코드화 여기(coded excitation)를 통해 변조된 초음파 신호를 대상체에 조사한 후 반사된 초음파 신호를 수신하는 수단이다.
- [0092] 빔 집속부(13)는, 수신부(12)를 통해 수신된 상기 초음파 신호에 대한 시간 지연을 통해 빔포밍(beamforming)을 수행한다.
- [0093] 복조부(14)는, 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 직교 복조(quadrature demodulation)를 수행한다. 이러한 복조부(14)는, 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 동상(in-phase) 성분 및 직교(quadrature) 성분을 분리하여 출력하게 되며, 직교 복조 후 초음파 신호에 대해 안티-앨리어싱(anti-aliasing) 처리를 수행하는 저역통과필터(low pass filter, LPF)(미도시)를 더 포함할 수 있다.
- [0094] 데시메이션부(15)는, 직교 복조 후 초음파 신호에 대해 표본화 데이터의 양을 감소시키는 데시메이션(decimation)을 수행한다.
- [0095] 펄스 압축부(16)는, 데시메이션 수행 후 초음파 신호에 대해 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배가 되도록 설정된 샘플링 주파수에 따라 펄스 압축을 수행한다. 이때, 상기 펄스 압축을 위한 샘플링 주파수가 상기 초음파 펄스의 중심 주파수와 데시메이션 비율의 곱의 정수배인 경우, 정수배가 아닌 경우에 비해 펄스 압축

시 측방향 측엽(range sidelobe)의 발생을 억제하며 주엽(mainlobe)의 포락선의 크기를 상대적으로 증가시키게 된다. 특히, 상기 펄스 압축부(16)는, 빔포밍 직후의 초음파 신호에 비해 데이터 레이트(data rate)가 상기 데시메이션 비율에 반비례하여 감소된 값을 갖는다. 따라서, 상기 펄스 압축부(16)는, 빔포밍 직후의 초음파 신호에 비해 펄스 압축을 위한 정합 필터의 탭(tap) 수가 상대적으로 적은 값을 갖게 되는 장점이 있다.

[0096] 한편, 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 DC 리젝션(direct current rejection)을 수행하는 DC 리젝션부(미도시)를 더 포함할 수 있으며, 그로 인해 상기 펄스 압축부(16)는, 빔포밍 후 초음파 신호에 대해 DC 리젝션과 직교 복조가 곁해진 신호를 각각 자기상관함수(auto-correlation)를 이용한 정합 필터를 통해 펄스 압축하는 것이 바람직하다.

[0097] 또한, 도 12의 초음파 처리 장치(10)는, 펄스 압축 후 초음파 신호에 대해 포락선 검파(envelope detection)를 수행하는 포락선 검파부(미도시) 내지 포락선 검파 후 초음파 신호에 대해 스캔 변환(scan conversion)을 수행하는 스캔 변환부(미도시)를 더 포함할 수도 있다.

[0098] 상기된 본 발명의 실시예들에 따르면, 코드화 여기 기법에 따른 펄스 압축 과정을 포스트-데시메이션의 위치로 선택하면서도 포스트-빔포밍 위치에서 펄스 압축을 수행하는 것과 동일한 압축 성능을 갖는 초음파 신호 처리 기술을 제안하였다. 또한, 이를 통해 낮은 데이터 레이트에서 펄스 압축을 수행함으로써 펄스 압축 과정 이후를 스마트폰을 비롯한 별도의 시스템에서 용이하게 구현할 수 있을 뿐만 아니라, 정합 필터의 탭(tap) 수를 감소시킴으로써 하드웨어의 복잡도를 낮출 수 있다.

[0099] 이상에서 본 발명에 대하여 그 다양한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명에 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

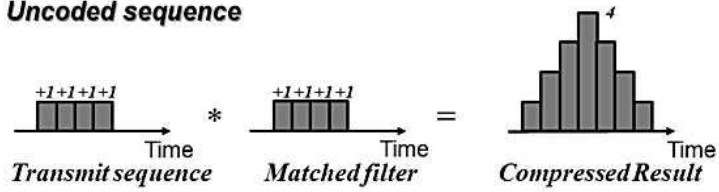
부호의 설명

[0100] 310: 빔 집속부 320: DC 리젝션 필터
330: 변조부 340: 저역통과필터
350: 데시메이션부
510: 펄스 압축부 520: DC 리젝션 필터
610: 펄스 압축부 620: 저역통과필터
630: 데시메이션부
10: 초음파 처리 장치
11: 변조부 12: 수신부
13: 빔 집속부 14: 복조부
15: 데시메이션부 16: 펄스 압축부

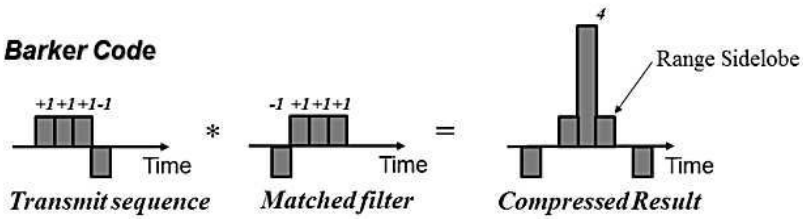
도면

도면1

Uncoded sequence

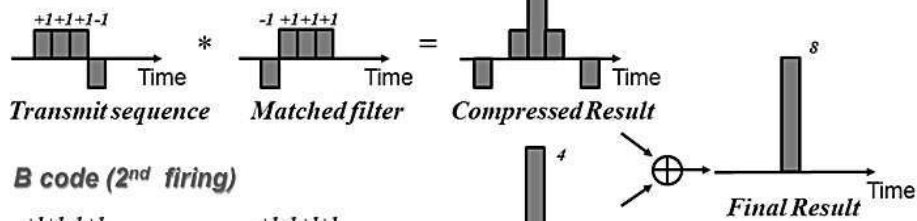


Barker Code

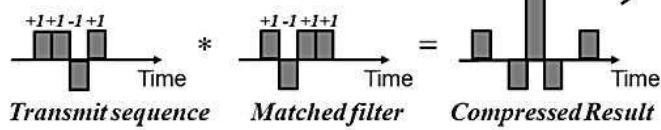


Golay Code

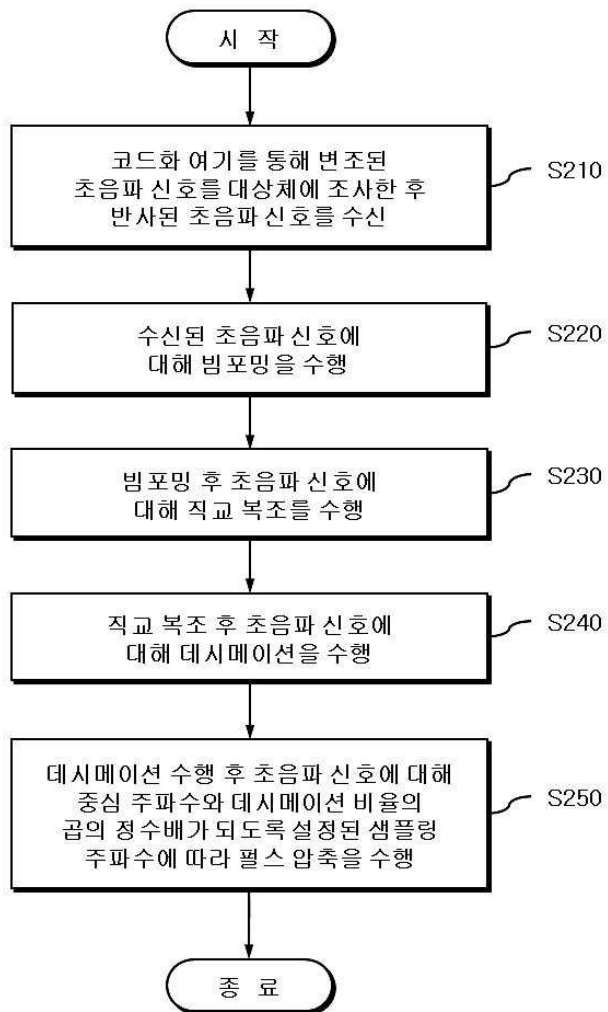
A code (1st firing)



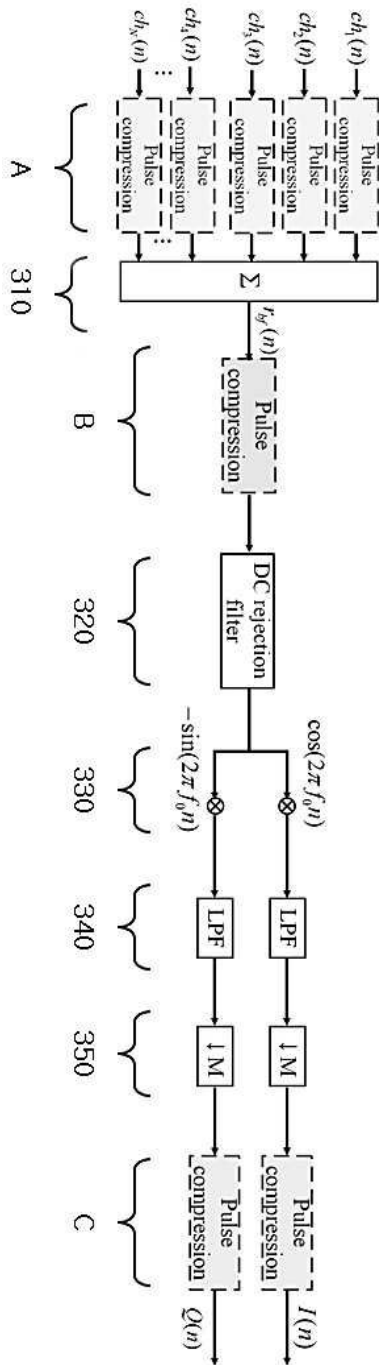
B code (2nd firing)



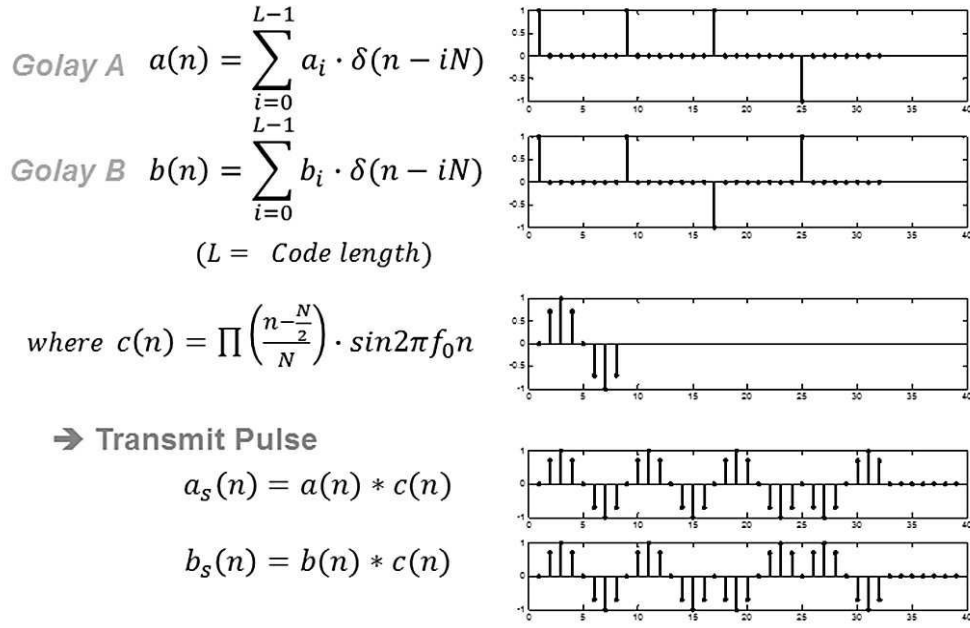
도면2



도면3

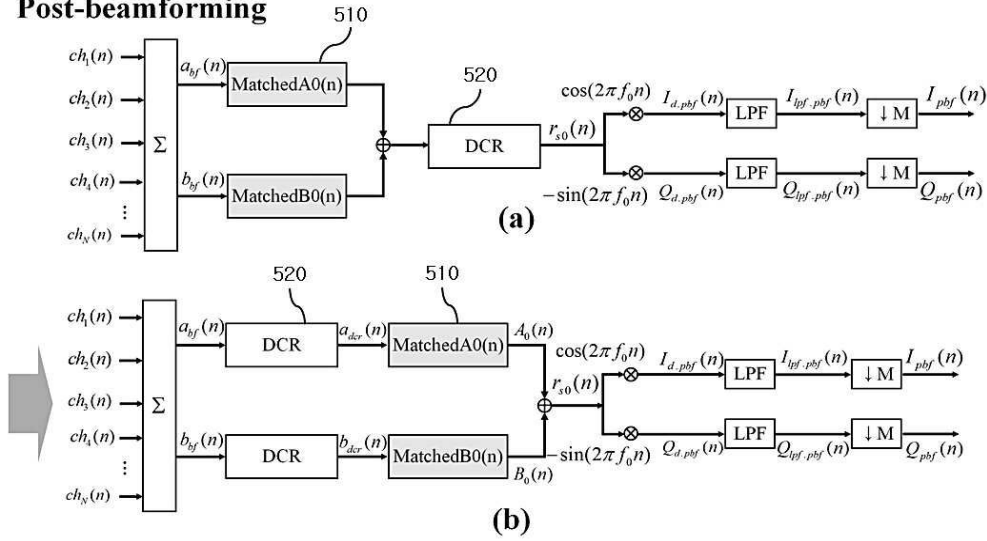


도면4

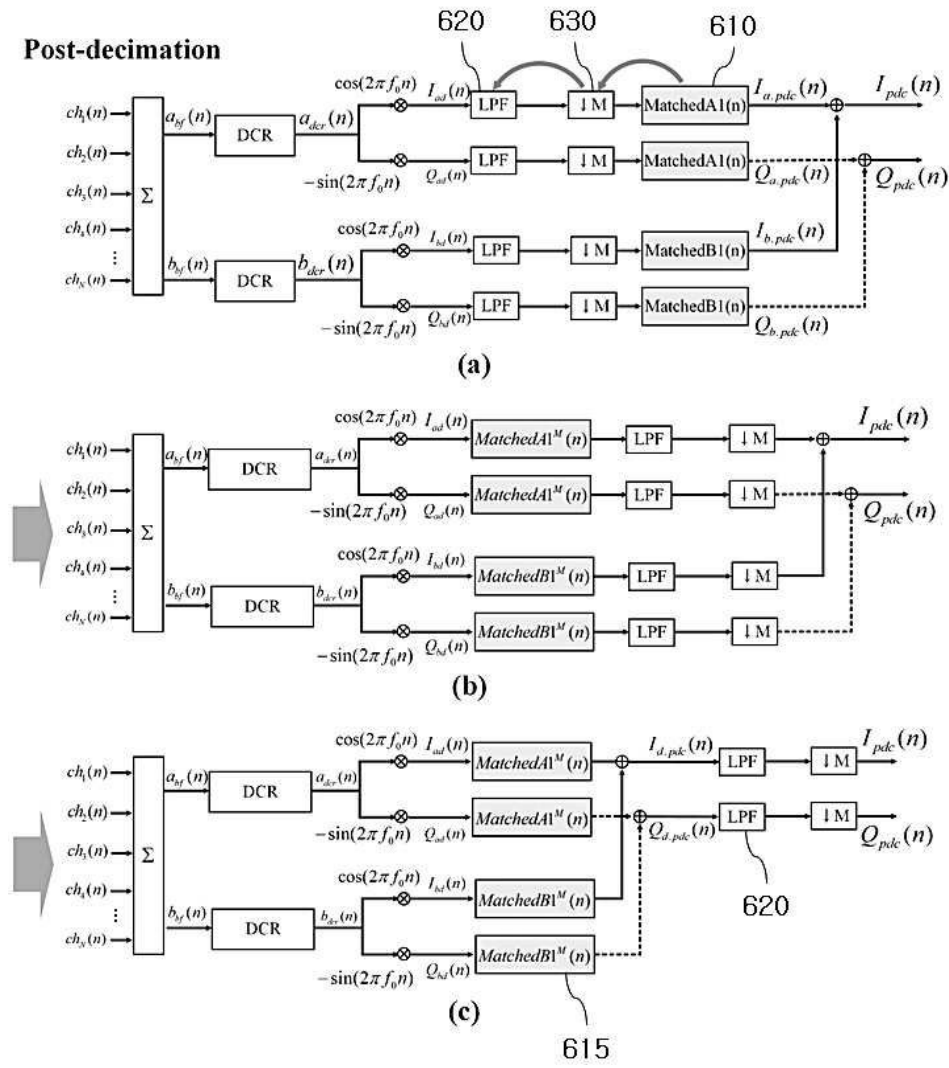


도면5

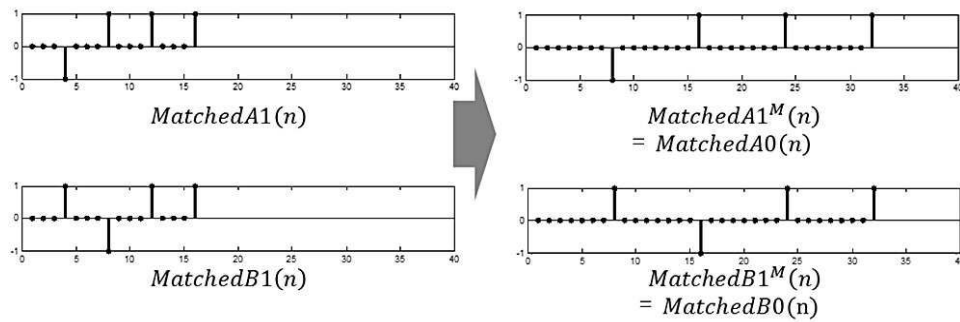
Post-beamforming



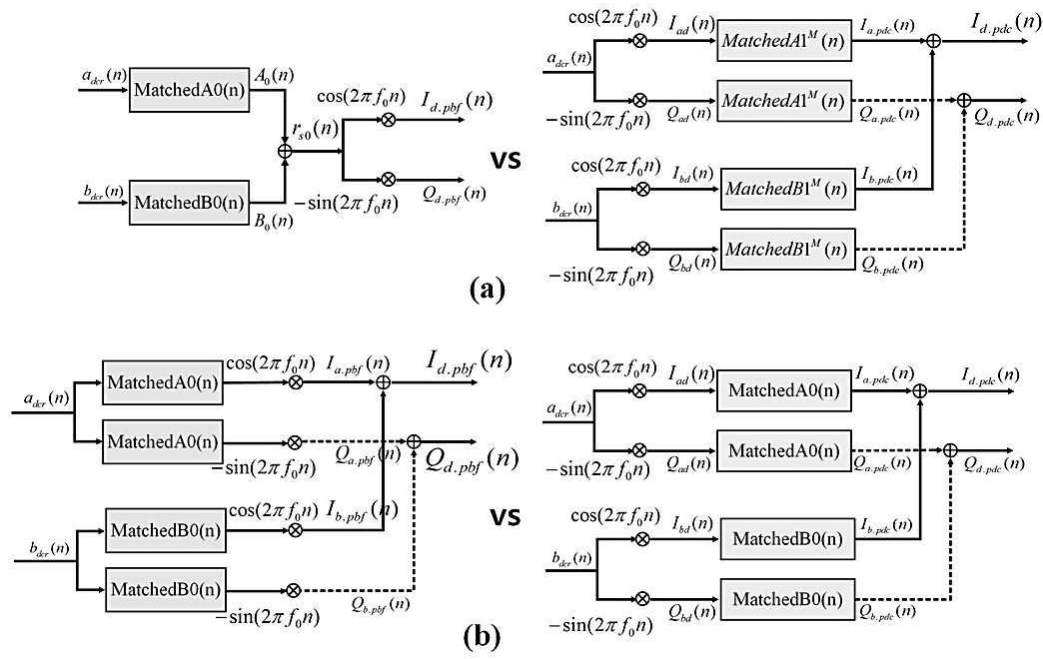
도면6



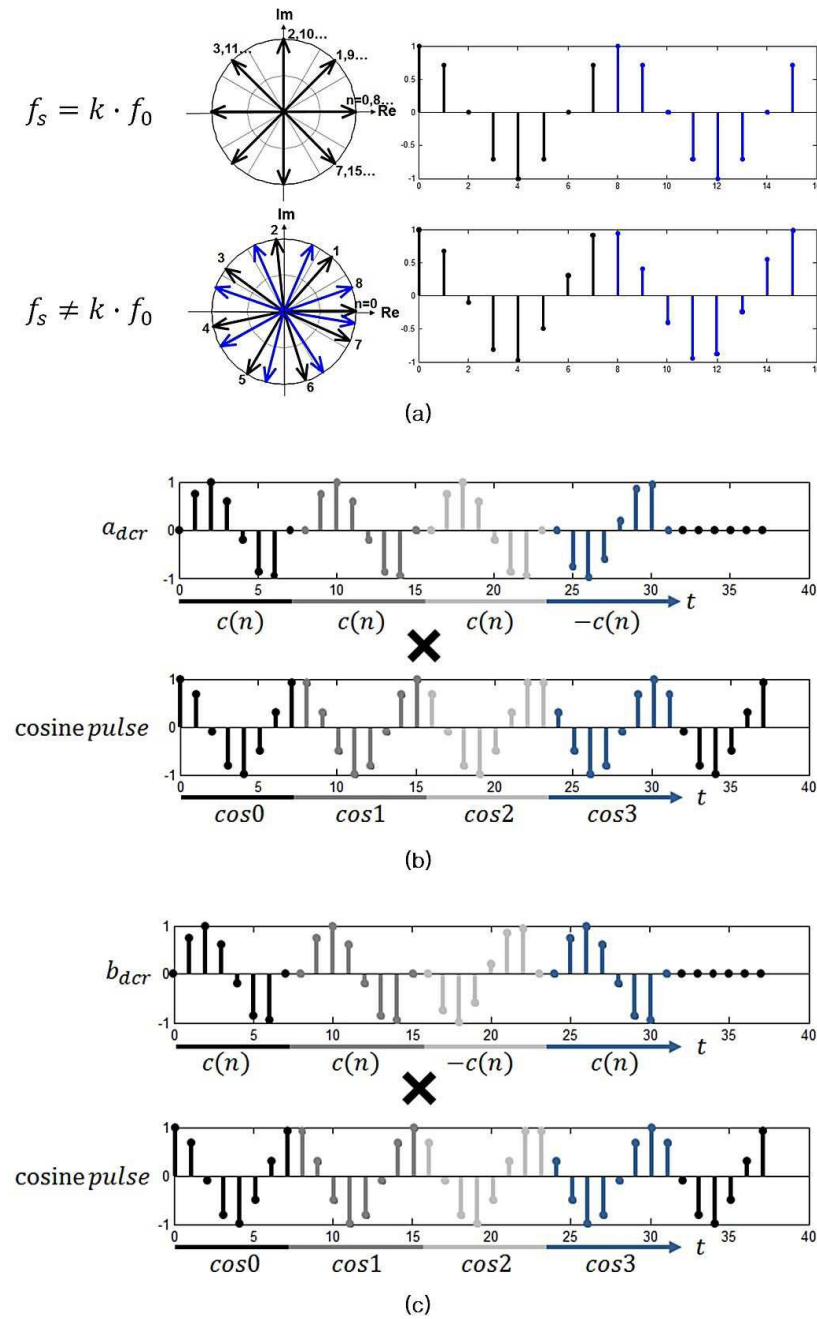
도면7



도면8



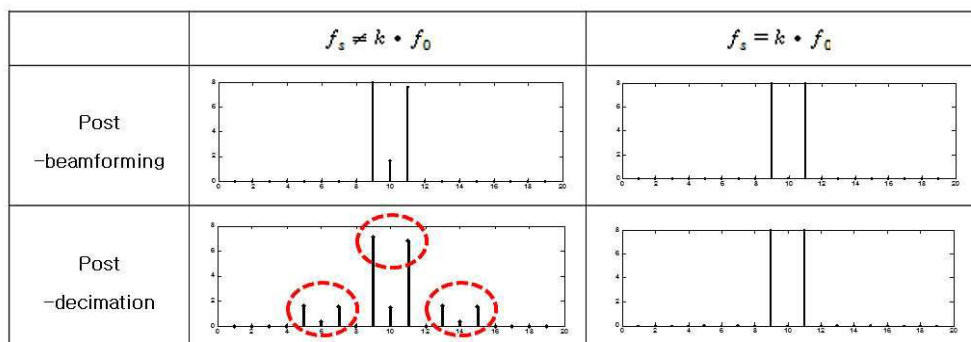
도면9



도면10

	$f_s \neq k \cdot f_0$	$f_s = k \cdot f_0$
(a) a_{dcr} , b_{dcr} 과 cosine의 곱셈	$ \begin{array}{c} \xrightarrow{t} \\ a_{dcr} \begin{bmatrix} c(n) & c(n) & c(n) & -c(n) \end{bmatrix} \\ \times \\ \text{cosine pulse} \begin{bmatrix} \cos 0 & \cos 1 & \cos 2 & \cos 3 \end{bmatrix} \\ \parallel \\ I_{ad} \begin{bmatrix} X0 & X1 & X2 & -X3 \end{bmatrix} \\ \\ \xrightarrow{t} \\ b_{dcr} \begin{bmatrix} c(n) & c(n) & -c(n) & c(n) \end{bmatrix} \\ \times \\ \text{cosine pulse} \begin{bmatrix} \cos 0 & \cos 1 & \cos 2 & \cos 3 \end{bmatrix} \\ \parallel \\ I_{bd} \begin{bmatrix} X0 & X1 & -X2 & X3 \end{bmatrix} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \xrightarrow{t} \\ a_{dcr} \begin{bmatrix} c(n) & c(n) & c(n) & -c(n) \end{bmatrix} \\ \times \\ \text{cosine pulse} \begin{bmatrix} \cos 0 & \cos 0 & \cos 0 & \cos 0 \end{bmatrix} \\ \parallel \\ I_{ad} \begin{bmatrix} X0 & X0 & X0 & -X0 \end{bmatrix} \\ \\ \xrightarrow{t} \\ b_{dcr} \begin{bmatrix} c(n) & c(n) & -c(n) & c(n) \end{bmatrix} \\ \times \\ \text{cosine pulse} \begin{bmatrix} \cos 0 & \cos 0 & \cos 0 & \cos 0 \end{bmatrix} \\ \parallel \\ I_{bd} \begin{bmatrix} X0 & X0 & -X0 & X0 \end{bmatrix} \end{array} $
(b) 정합필터링	$ \begin{array}{c} \xrightarrow{t} \\ I_{a.pdc} \begin{bmatrix} -X0 & X0 & X0 & X0 & X1 & X2 & -X3 \\ & -X1 & +X1 & +X1 & +X2 & -X3 & \\ & & -X2 & +X2 & -X3 & & \\ & & & +X3 & & & \end{bmatrix} \\ \\ \xrightarrow{t} \\ I_{b.pdc} \begin{bmatrix} X0 & -X0 & X0 & X0 & X1 & -X2 & X3 \\ & +X1 & -X1 & +X1 & -X2 & +X3 & \\ & & -X2 & +X2 & -X3 & & \\ & & & +X3 & & & \end{bmatrix} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \xrightarrow{t} \\ I_{a.pdc} \begin{bmatrix} -X0 & 0 & X0 & 4X0 & X0 & 0 & -X0 \end{bmatrix} \\ \\ \xrightarrow{t} \\ I_{b.pdc} \begin{bmatrix} X0 & 0 & -X0 & 4X0 & -X0 & 0 & X0 \end{bmatrix} \end{array} $
(c) 정합 필터링 결과 합산	$ \xrightarrow{t} \\ I_{d.pdc} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2X0 & 2X0 & 2X1 & 0 & 0 \\ & & -2X2 & +2X1 & -2X3 & & \\ & & & +2X2 & & & \\ & & & +2X3 & & & \end{bmatrix} $	$ \xrightarrow{t} \\ I_{d.pdc} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 8X0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} $

도면11



도면12

