



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년06월10일
(11) 등록번호 10-1629423
(24) 등록일자 2016년06월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 8/13 (2006.01) G01S 7/52 (2006.01)
G10K 11/34 (2006.01) H03M 7/40 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7002321
(22) 출원일자(국제) 2010년06월17일
심사청구일자 2015년05월21일
(85) 번역문제출일자 2012년01월27일
(65) 공개번호 10-2012-0108959
(43) 공개일자 2012년10월05일
(86) 국제출원번호 PCT/US2010/039081
(87) 국제공개번호 WO 2011/008408
국제공개일자 2011년01월20일
(30) 우선권주장
12/494,184 2009년06월29일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2007260129 A
JP2007319176 A
W02004098066 A1
JP2005081082 A

(73) 특허권자
알테라 코퍼레이션
미국 캘리포니아, 샌 호세 이노베이션 드라이브
101(우편번호:95134)
(72) 발명자
웨그너 알버트 더블유.
미국 캘리포니아 94028 포토라 밸리 코르테 마데
라 로드 229
(74) 대리인
박장원

전체 청구항 수 : 총 39 항

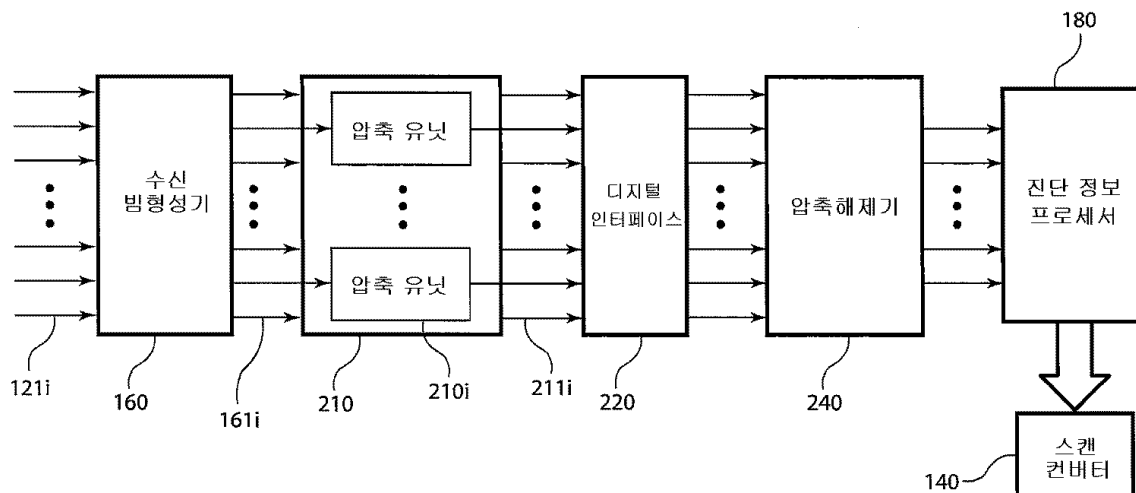
심사관 : 박승배

(54) 발명의 명칭 초음파 시스템에서 빔형성 후의 압축

(57) 요약

빔형성 샘플들의 어레이들로 나타나는 하나 이상의 빔들을 형성하기 위하여 수신된 초음파 신호 샘플들에 빔형성기를 적용하는 초음파 영상 시스템에서, 빔형성 샘플들의 각각의 어레이를 다른 어레이들과 개별적으로 압축하여 압축 빔들을 형성하는 방법 및 장치가 개시된다. 복수의 아날로그-디지털 컨버터들은 빔형성기에 초음파 신호 샘플들의 복수의 스트림들을 제공하기 위하여 변환기 어레이에 의해 생성된 복수의 아날로그 초음파 신호들을 샘플링한다. 압축 빔들은 디지털 인터페이스를 통해 신호 프로세서로 전송된다. 신호 프로세서에서, 압축 빔들이 압축해제되어 압축해제 빔들을 형성한다. 신호 프로세서는 B-모드 또는 도플러 영상과 같은 진단 영상을 위한 압축 해제 빔들을 더 처리하고, 디스플레이를 위해 결과적인 초음파 영상을 준비하기 위하여 스캔 변환한다. 이 요약은 청구항들에 기술된 바와 같이 발명의 범주를 제약하지 않는다.

대표도



명세서

청구범위

청구항 1

하나 이상의 빔들을 형성하기 위하여 샘플링 윈도우 동안 수신된 초음파 신호 샘플들의 복수의 시퀀스들에 적용되는 수신 빔형성기(receive beamformer)를 포함하는 초음파 영상 시스템 -상기 빔들 각각은 빔형성 샘플들(beamformed samples)의 어레이로 나타내어지고, 여기서 상기 샘플링 윈도우 동안 복수의 초음파 변환기 소자들(ultrasound transducer elements)에 의해 출력된 복수의 아날로그 초음파 신호들에 대한 아날로그-디지털 변환은 상기 초음파 신호 샘플들의 복수의 시퀀스들을 생성하며- 에서,

압축 빔들(compressed beams)을 형성하기 위하여, 상기 샘플링 윈도우 동안 수신된 상기 초음파 신호 샘플들에 상기 수신 빔형성기를 적용함으로써 생성된 상기 빔들을 압축하는 단계와, 상기 빔들을 압축하는 단계는, 대응하는 압축 빔을 위한 압축 빔형성 샘플들(compressed beamformed samples)을 형성하기 위하여 특정 빔을 나타내는 어레이 내의 빔형성 샘플들을 압축하는 것을 포함하고, 여기서 상기 어레이 내의 특정 빔형성 샘플의 압축은 상기 어레이 내의 적어도 하나의 다른 빔형성 샘플의 특성에 부분적으로 의존하고, 여기서 각각의 빔은 상기 샘플링 윈도우에 대응하는 또 다른 빔과는 개별적으로(independently) 압축되며; 그리고

디지털 인터페이스를 통해 신호 프로세서로 상기 압축 빔들을 전송하는 단계를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 빔형성 샘플들의 어레이들은 상기 압축하는 단계 전에 중간 주파수(intermediate frequency) 또는 기저대역(baseband)으로 다운컨버팅(downconverting)되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서,

대응하는 압축해제 빔을 위한 압축해제 빔형성 샘플들(decompressed beamformed samples)을 형성하기 위하여 상기 디지털 인터페이스로부터 수신된 대응하는 압축 빔의 압축 빔형성 샘플들의 적어도 일부를 압축해제하는 단계를 더 포함하며, 여기서 상기 압축해제하는 단계는 상기 대응하는 압축 빔에 대해 또 다른 압축 빔과는 개별적으로 적용되고, 상기 신호 프로세서는 상기 압축해제 빔형성 샘플들을 더 처리하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 압축하는 단계는, 상기 대응하는 압축 빔을 형성하기 위하여 상기 특정 빔을 나타내는 상기 빔형성 샘플들의 어레이에 블록 부동 소수점 엔코딩(block floating point encoding)을 적용하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제4 항에 있어서,

압축해제 빔을 위한 압축해제 빔형성 샘플들을 형성하기 위하여 대응하는 압축 빔의 대응 부분에 블록 부동 소수점 디코딩을 적용함으로써 상기 디지털 인터페이스로부터 수신된 상기 압축 빔형성 샘플들의 적어도 일부를 압축해제하는 단계를 더 포함하며, 여기서 상기 신호 프로세서는 상기 압축해제 빔형성 샘플들을 더 처리하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제1 항에 있어서, 상기 압축하는 단계는,

상기 특정 빔에 대응하는 상기 빔형성 샘플들의 어레이 내의 연속적인(consecutive) 빔형성 샘플들의 그룹들을

정의하는 단계와, 각각의 그룹은 소정 수의 빔형성 샘플들을 가지며;

상기 그룹 내에서 최대 크기(maximum magnitude)를 가진 빔형성 샘플에 대한 지수 값을 결정하는 단계와;

지수 토큰(exponent token)을 형성하기 위하여 상기 그룹에 대한 상기 지수 값을 엔코딩하는 단계와;

상기 그룹 내의 각각의 빔형성 샘플을 나타내기 위하여 감소된 비트 수(reduced number of bits)를 가진 가수(mantissa)를 형성하는 단계와, 여기서 상기 감소된 비트 수는 상기 지수 값에 근거한 것이며; 그리고

대응하는 압축 그룹을 형성하기 위하여 상기 지수 토큰 및 소정 수의 가수들을 사용하여 상기 그룹의 압축 빔형성 샘플들을 나타내는 단계를 포함하며, 여기서 복수의 압축 그룹들이 상기 대응하는 압축 빔을 형성하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제6 항에 있어서, 상기 가수를 형성하는 단계는,

감소된 가수(reduced mantissa)를 형성하기 위하여 상기 빔형성 샘플을 버림(truncating) 또는 반올림(rounding)함으로써 상기 그룹 내의 각각의 빔형성 샘플로부터 다수의 최하위 비트들(LSB들)을 제거하는 단계를 더 포함하며, 제거되는 상기 LSB들의 수는 상기 지수 값에 근거한 것이고, 상기 압축 빔형성 샘플들을 나타내는 단계는 상기 대응하는 압축 그룹을 형성하기 위하여 상기 지수 토큰 및 소정 수의 감소된 가수들을 사용하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제6 항에 있어서, 상기 수신 빔형성기는 J개의 빔들을 생성하고, 여기서 J는 적어도 2이고, 상기 대응하는 빔의 빔형성 샘플들의 그룹들은 본래의 그룹 순서(original group order)로 되어 있으며,

압축 그룹들의 M개의 멀티플렉싱된 시퀀스들을 형성하기 위하여 상기 J개의 빔들에 대응하는 압축 그룹들을 멀티플렉싱하는 단계를 더 포함하고, 여기서 M은 J보다 작고, 상기 멀티플렉싱은 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스들을 형성하기 위하여 상기 압축 빔들 중 적어도 두개의 세트에 대응하는 압축 그룹들을 인터리브(interleave)하는 것을 포함하며, 여기서 상기 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스 내의 상기 압축 그룹들은 그룹 순서(group order)로 배열(arrange)되고, 상기 전송하는 단계는 상기 M개의 멀티플렉싱된 시퀀스들을 전송하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제8 항에 있어서,

압축해제 빔형성 샘플들을 포함하는 압축해제 그룹들을 형성하기 위하여 상기 디지털 인터페이스로부터 수신된 상기 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스의 압축 그룹들을 압축해제하는 단계와, 여기서 상기 압축해제 그룹들은 상기 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스의 상기 그룹 순서로 되어 있고; 그리고

상기 압축 빔들의 세트에 대응하는 압축해제 빔들의 세트를 형성하기 위하여 상기 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스의 상기 압축해제 그룹들을 디멀티플렉싱하는 단계를 더 포함하며, 여기서 상기 압축해제 그룹들을 디멀티플렉싱하는 단계는 상기 압축해제 빔들에 대한 상기 본래의 그룹 순서(original group order)를 복원(restore)하기 위하여 상기 압축해제 그룹들을 상기 그룹 순서로부터 재배열(rearrange)하는 것을 포함하고, 상기 압축해제 빔들은 추가의 신호 처리를 위해 제공되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제6 항에 있어서,

추가적 신호 처리를 위해 제공되는 대응하는 압축해제 빔형성 샘플들의 그룹들을 형성하기 위한 압축해제를 위하여 대응하는 압축 그룹들을 선택함으로써 상기 디지털 인터페이스로부터 수신된 상기 압축 빔형성 샘플들의 적어도 일부를 압축해제하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

하나 이상의 빔들을 형성하기 위하여 샘플링 윈도우 동안 수신된 초음파 신호 샘플들의 복수의 시퀀스들에 적용

되는(applied) 수신 빔형성기(receive beamformer)를 포함하는 초음파 영상 시스템 -상기 빔들 각각은 빔형성 샘플들(beamformed samples)의 어레이로 나타내어지고, 여기서 상기 샘플링 윈도우 동안 복수의 초음파 변환기 소자들(ultrasound transducer elements)에 의해 출력된 복수의 아날로그 초음파 신호들에 대한 아날로그-디지털 변환은 상기 초음파 신호 샘플들의 복수의 시퀀스들을 생성하며- 에서,

압축 빔들(compressed beams)을 형성하기 위하여, 상기 샘플링 윈도우 동안 수신된 상기 초음파 신호 샘플들에 상기 수신 빔형성기를 적용함으로써 형성된 상기 빔들을 압축하는 단계와, 상기 빔들을 압축하는 단계는,

대응하는 차분 샘플들(difference samples)의 시퀀스를 형성하기 위하여 특정 빔을 나타내는 어레이 내의 연속적인 빔형성 샘플들(beamformed samples) 사이의 차분들(differences)을 계산하는 단계와; 그리고

대응하는 압축 빔의 압축 빔형성 샘플들을 형성하기 위하여 상기 대응하는 차분 샘플들의 시퀀스를 엔코딩하는 단계를 포함하며; 그리고

디지털 인터페이스를 통해 신호 프로세서로 상기 압축 빔들을 전송하는 단계를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제11 항에 있어서,

상기 빔형성 샘플들의 어레이들은 상기 압축하는 단계 전에 중간 주파수(intermediate frequency) 또는 기저대역(baseband)으로 다운컨버팅(downconverting)되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13

제11 항에 있어서, 상기 차분들을 계산하는 단계는,

대응하는 차분 샘플들의 시퀀스를 형성하기 위하여 소정 수의 샘플 간격들(sample intervals)에 의해 분리되는 어레이 내의 빔형성 샘플들의 쌍들에서 빔형성 샘플들 사이의 차분들을 계산하는 단계와; 그리고

상기 대응하는 압축 빔의 압축 빔형성 샘플들을 형성하기 위하여 상기 대응하는 차분 샘플들의 시퀀스를 엔코딩하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 14

제13 항에 있어서,

상기 차분들을 계산하는 단계 전에 역 제어 파라미터(inversion control parameter)에 따라 상기 소정 수의 샘플 간격들에 의해 분리되는 빔형성 샘플들의 각각의 쌍에서 상기 빔형성 샘플들 중 하나를 선택적으로 인버팅하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 15

제11 항에 있어서,

상기 디지털 인터페이스로부터 수신된 상기 압축 빔형성 샘플들의 적어도 일부를 압축해제하는 단계를 더 포함하며, 상기 압축해제하는 단계는,

디코딩된 차분 샘플들을 형성하기 위하여 상기 대응하는 압축 빔의 압축 빔형성 샘플들을 디코딩하는 단계와; 그리고

대응하는 압축해제 빔을 위한 압축해제 빔형성 샘플들을 형성하기 위하여 상기 디코딩된 차분 샘플들을 적분(integrating)하는 단계를 더 포함하며, 여기서 상기 적분은 상기 차분들을 계산하는 단계의 차분 연산들을 인버팅하기 위하여 1차 또는 고차 적분(first or higher order integrations)을 계산하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 16

제11 항에 있어서,

상기 엔코딩하는 단계는 상기 대응하는 압축 빔을 형성하기 위하여 상기 대응하는 차분 샘플들의 시퀀스에 블록

부동 소수점 엔코딩을 적용하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 17

제16 항에 있어서,

상기 디지털 인터페이스로부터 수신된 압축 빔형성 샘플들의 적어도 일부를 압축해제하는 단계를 더 포함하며, 상기 압축해제하는 단계는,

디코딩된 차분 샘플들을 형성하기 위하여 상기 대응하는 압축 빔의 압축 빔형성 샘플들에 블록 부동 소수점 디코딩을 적용함으로써 상기 압축 빔형성 샘플들을 디코딩하는 단계와; 그리고

대응하는 압축해제 빔을 위한 압축해제 빔형성 샘플들을 형성하기 위하여 상기 디코딩된 차분 샘플들을 적분하는 단계를 더 포함하며, 여기서 상기 적분은 상기 차분들을 계산하는 단계의 차분 연산들을 인버팅하기 위하여 1차 또는 고차 적분(first or higher order integrations)을 계산하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 18

제11 항에 있어서, 상기 엔코딩하는 단계는,

대응하는 차분 샘플들의 시퀀스 내의 연속적인(consecutive) 차분 샘플들의 그룹들을 정의하는 단계와, 각각의 그룹은 소정 수의 차분 샘플들을 가지며;

상기 그룹 내에서 최대 크기(maximum magnitude)를 가진 차분 샘플들에 대한 지수 값을 결정하는 단계와;

지수 토큰(exponent token)을 형성하기 위하여 상기 그룹에 대한 상기 지수 값을 엔코딩하는 단계와;

상기 그룹 내의 각각의 차분 샘플을 나타내기 위하여 감소된 비트 수를 가진 가수(mantissa)를 형성하는 단계와, 여기서 상기 감소된 비트 수는 상기 지수 값에 근거한 것이며; 그리고

대응하는 압축 그룹을 형성하기 위하여 상기 지수 토큰 및 소정 수의 가수들을 사용하여 상기 그룹의 차분 샘플들을 나타내는 단계를 포함하며, 여기서 복수의 압축 그룹들은 대응하는 압축 빔(compressed beam)을 형성하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 19

제18 항에 있어서,

상기 가수를 형성하는 단계는,

감소된 가수(reduced mantissa)를 형성하기 위하여 상기 차분 샘플을 버림(truncating) 또는 반올림(rounding)함으로써 상기 그룹 내의 각각의 차분 샘플로부터 다수의 최하위 비트들(LSB들)을 제거하는 단계를 더 포함하며, 제거되는 상기 LSB들의 수는 상기 지수 값에 근거한 것이고, 상기 차분 샘플들을 나타내는 단계는 상기 대응하는 압축 그룹을 형성하기 위하여 상기 지수 토큰 및 소정 수의 감소된 가수들을 사용하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 20

제18 항에 있어서,

상기 수신 빔형성기는 N개의 빔들을 생성하고, 여기서 N는 적어도 2이고, 상기 대응하는 빔의 차분 샘플들의 그룹들은 본래의 그룹 순서(original group order)로 되어 있으며,

압축 그룹들의 M개의 멀티플렉싱된 시퀀스들을 형성하기 위하여 상기 N개의 압축 빔들에 대응하는 압축 그룹들을 멀티플렉싱하는 단계를 더 포함하며, 여기서 M은 N보다 작고, 상기 멀티플렉싱은 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스를 형성하기 위하여 상기 압축 빔들 중 적어도 두개의 세트에 대응하는 압축 그룹들을 인터리브(interleave)하는 것을 포함하며, 여기서 상기 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스 내의 상기 압축 그룹들은 그룹 순서(group order)로 배열(arrange)되고, 상기 전송하는 단계는 상기 M개의 멀티플렉싱된 시퀀스들을 전송하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 21

제20 항에 있어서,

디코딩된 차분 샘플들의 디코딩된 그룹들을 형성하기 위하여 상기 디지털 인터페이스로부터 수신된 상기 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스의 압축 그룹들을 디코딩하는 단계와, 여기서 상기 디코딩된 그룹들은 상기 그룹 순서(group order)로 되어 있고; 그리고

압축해제 빔형성 샘플들을 포함하는 압축해제 그룹들을 형성하기 위하여 상기 그룹 순서에 따라 동일 압축 빔에 대응하는 디코딩된 차분 샘플들을 적분하는 단계와, 여기서 상기 압축해제 그룹들은 상기 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스의 상기 그룹 순서로 되어 있고; 그리고

상기 압축 빔들의 세트에 대응하는 압축해제 빔들의 세트를 형성하기 위하여 상기 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스의 압축해제 그룹들을 디멀티플렉싱하는 단계를 더 포함하며, 여기서 상기 압축해제 그룹들을 디멀티플렉싱하는 단계는 상기 압축해제 빔들에 대한 상기 본래의 그룹 순서(original group order)를 복원(restore)하기 위하여 상기 압축해제 그룹들을 상기 그룹 순서로부터 재배열(rearrange)하는 것을 포함하고, 상기 압축해제 빔들은 추가의 신호 처리를 위해 제공되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 22

제20 항에 있어서,

디코딩된 차분 샘플들을 포함하는 디코딩된 그룹들을 형성하기 위하여 상기 디지털 인터페이스로부터 수신된 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스의 압축 그룹들을 디코딩하는 단계와, 여기서 상기 디코딩된 그룹들은 상기 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스의 상기 그룹 순서로 되어 있고;

상기 압축 빔들의 세트에 대응하는 디코딩된 차분 샘플들의 시퀀스들의 세트를 형성하기 위하여 상기 디코딩된 그룹들을 디멀티플렉싱하는 단계와, 상기 디멀티플렉싱하는 단계는 상기 디코딩된 차분 샘플들의 시퀀스들에 대한 상기 본래의 그룹 순서(original group order)를 복원(restore)하기 위하여 상기 디코딩된 그룹들을 상기 그룹 순서로부터 재배열(rearrange)하는 것을 포함하고, 그리고

대응하는 압축해제 빔을 위한 압축해제 빔형성 샘플들을 형성하기 위하여 디코딩된 차분 샘플들의 각각의 시퀀스를 적분하는 단계를 더 포함하며, 여기서 상기 적분은 상기 차분들을 계산하는 단계의 차분 연산들을 인버팅하기 위하여 1차 또는 고차 적분(first or higher order integrations)을 계산하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 23

제18 항에 있어서,

추가적 신호 처리를 위해 제공되는 대응하는 압축해제 빔형성 샘플들의 그룹들을 형성하기 위한 압축해제를 위하여 대응하는 압축 그룹들을 선택함으로써 상기 디지털 인터페이스로부터 수신된 상기 압축 빔형성 샘플들의 적어도 일부를 압축해제하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 24

하나 이상의 빔들을 형성하기 위하여 샘플링 윈도우 동안 수신된 초음파 신호 샘플들의 복수의 시퀀스들에 적용되는(applied) 수신 빔형성기(receive beamformer)를 포함하는 초음파 영상 시스템 -여기서, 복수의 아날로그-디지털 컨버터들이 샘플링 윈도우 동안 복수의 초음파 변환기 소자들에 의해 출력된 복수의 아날로그 초음파 신호들을 샘플링하여 상기 수신 빔형성기에 제공되는 초음파 신호 샘플들의 복수의 시퀀스들을 생성하며- 에서,

상기 샘플링 윈도우 동안 수신된 상기 초음파 신호 샘플들에 상기 수신 빔형성기를 적용함으로써 형성된 빔형성 샘플들의 하나 이상의 어레이들을 수신하도록 상기 수신 빔형성기에 연결된 압축기를 포함하며; 상기 압축기는 하나 이상의 압축유닛들을 포함하고, 여기서 대응하는 압축 유닛이, 대응하는 압축 빔의 압축 빔형성 샘플들(compressed beamformed samples)을 형성하기 위하여 상기 샘플링 윈도우에 대응하는 또 다른 빔과는 개별적으로, 대응하는 빔의 빔형성 샘플들을 압축하며, 여기서 상기 대응하는 압축 유닛은 상기 대응하는 빔의 적어도 하나의 다른 빔형성 샘플의 특성에 부분적으로 근거하여 특정 빔형성 샘플을 압축하도록 되어 있고, 여기서 상기 압축기는 신호 프로세서에 전송하기 위하여 디지털 인터페이스에 상기 압축 빔들을 제공하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 25

제24 항에 있어서,

상기 수신 빔형성기와 상기 압축기 사이에 연결된 하나 이상의 다운컨버터들을 더 포함하고, 각각의 다운컨버터는 상기 대응하는 압축 유닛에 제공되는 다운컨버팅된 빔을 형성하기 위하여 상기 수신 빔형성기로부터 대응하는 빔을 수신하여 상기 대응하는 빔의 상기 빔형성 샘플들을 중간 주파수 또는 기저대역으로 컨버팅하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 26

제24 항에 있어서,

상기 디지털 인터페이스로부터 상기 압축 빔들을 수신하도록 연결되고 상기 신호 프로세서에 압축해제 빔들을 제공하는 압축해제기를 더 포함하고, 여기서 상기 압축해제기는 대응하는 압축해제 빔의 압축해제 빔형성 샘플들을 형성하기 위하여 상기 샘플링 윈도우에 대응하는 또 다른 압축 빔과는 개별적으로 특정 압축 빔의 압축 빔형성 샘플들을 압축해제하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 27

제24 항에 있어서, 상기 압축 유닛은,

상기 대응하는 압축 빔을 생성하기 위하여 상기 빔형성 샘플들의 어레이에 적용되는 블록 부동 소수점 엔코더를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 28

제27 항에 있어서,

상기 디지털 인터페이스로부터 상기 압축 빔들을 수신하고 상기 신호 프로세서에 압축해제 빔들을 제공하는 압축해제기를 더 포함하고, 상기 압축해제기는 대응하는 압축해제 빔의 압축해제 빔형성 샘플들을 형성하기 위하여 대응하는 압축 빔의 압축 빔형성 샘플들의 적어도 일부에 적용되는 블록 부동 디코더(block floating decoder)를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 29

제24 항에 있어서, 상기 압축 유닛은,

차분 샘플들의 시퀀스를 생성하기 위하여 상기 대응하는 빔의 연속적인 빔형성 샘플들 사이의 1차 또는 고차 차분들(first or higher order differences)을 계산하는 차분 연산기(difference operator)와; 그리고

상기 대응하는 압축 빔의 상기 압축 빔형성 샘플들을 형성하기 위하여 상기 차분 샘플들의 시퀀스를 엔코딩하는 엔코더를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 30

제29 항에 있어서,

상기 차분 연산기는 상기 대응하는 빔의 빔형성 샘플들의 쌍들에서 상기 빔형성 샘플들 사이의 차분들을 계산하며, 각각의 쌍의 빔형성 샘플들은 소정 수의 샘플 간격들로 분리되어 차분 샘플들의 시퀀스를 형성하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 31

제29 항에 있어서, 상기 디지털 인터페이스로부터 압축 빔들을 수신하고 상기 신호 프로세서에 압축해제 빔들을 제공하는 압축해제기를 더 포함하며, 상기 압축해제기는,

디코딩된 차분 샘플들의 시퀀스를 생성하기 위하여 대응하는 압축 빔의 압축 빔형성 샘플들의 적어도 일부에 적용되는 디코더와; 그리고

대응하는 압축해제 빔의 압축해제 빔형성 샘플들을 형성하기 위하여 상기 디코딩된 차분 샘플들의 시퀀스에 대한 1차 또는 고차 적분들(first or higher order integrals)을 계산하는 적분기(integrator)를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 32

제30 항에 있어서, 상기 압축 유닛은,

상기 차분 연산기를 위한 상기 빔형성 샘플들의 쌍들을 생성하기 위하여 역 제어 파라미터에 따라 소정 수의 샘플 구간들에 의해 분리된 빔형성 샘플들의 각각의 쌍의 빔형성 샘플들 중 하나를 선택적으로 인버팅하는 인버터를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 33

제24 항에 있어서,

상기 수신 빔형성기는 J개의 압축 빔들을 형성하기 위하여 J개의 압축 유닛들에 J개의 빔들을 제공하고, 여기서 상기 대응하는 압축 유닛은 상기 대응하는 압축 빔을 위한 압축 빔형성 샘플들의 복수의 압축 그룹들을 생성하고, 상기 압축 그룹들은 본래의 그룹 순서(original group order)로 되어 있고, 각각의 압축 그룹은 소정 수의 압축 빔형성 샘플들을 가지며,

상기 J개의 압축 빔들을 수신하고 상기 디지털 인터페이스에 압축 그룹들의 M개의 멀티플렉싱된 시퀀스들을 제공하는 그룹 멀티플렉서를 더 포함하며, 여기서 M은 J보다 작고, 상기 그룹 멀티플렉서는 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스를 형성하기 위하여 적어도 두개의 압축 빔들의 세트에 대응하는 압축 샘플들의 그룹들을 인터리브(interleave)하며, 여기서 상기 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스 내의 압축 그룹들은 그룹 순서(group order)로 배열(arrange)되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 34

제33 항에 있어서,

상기 디지털 인터페이스로부터 상기 M개의 멀티플렉싱된 시퀀스들을 수신하며 압축해제 그룹들의 M개의 시퀀스들을 형성하는 압축해제기와, 여기서 상기 압축해제기는 압축해제 그룹들을 상기 그룹 순서로 형성하기 위하여 상기 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스의 압축 그룹들을 압축해제하고; 그리고

상기 압축해제 그룹들의 M개의 시퀀스들을 수신하도록 연결되며 상기 신호 프로세서에 N개의 압축해제 빔들을 제공하는 그룹 디멀티플렉서를 포함하고, 여기서 상기 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스의 압축해제 그룹들은 압축 빔들의 세트에 대응하는 압축해제 빔들의 세트를 형성하기 위하여 상기 그룹 순서로부터 본래의 순서(original order)로 재배열(rearrange) 되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 35

제24 항에 있어서,

상기 압축기는 주문형 집적 회로(ASIC) 또는 필드 프로그램가능 게이트 어레이(FPGA)에 구현되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 36

제26 항에 있어서,

상기 압축해제기는 필드 프로그램가능 게이트 어레이(FPGA)에 구현되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 37

제26 항에 있어서, 상기 신호 프로세서는 FPGA에 구현되며, 상기 FPGA는,

상기 압축해제기를 구현하는 압축해제 코어와;

상기 압축해제 코어에 상기 압축 빔형성 샘플들을 제공하기 위하여 상기 디지털 인터페이스로부터 상기 압축 빔들을 수신하는 데이터 채널들과; 그리고

상기 신호 프로세서에 상기 압축해제 빔들을 제공하는 데이터 채널들을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 38

제26 항에 있어서,

상기 압축해제기는 적어도 부분적으로 그래픽 프로세싱 유닛(GPU)에 구현되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 39

제38 항에 있어서,

상기 신호 프로세서는 적어도 부분적으로 GPU에 구현되는 것을 특징으로 하는 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 초음파 영상 시스템에서, 수신된 초음파 신호 샘플들에 적용되는 수신 빔형성기에 의해 생성된 빔형성 샘플들(beamformed samples)의 압축에 관한 것으로서, 특히, 각각의 빔의 빔형성 샘플들을 개별적으로 압축하고 그리고 영상 형성을 위한 처리 전에 압축해제하는 것에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

의료용 초음파 시스템은, 임상 의(clinician)가 검사체(subject) 상에 놓인 변환기로부터 초음파 빔들을 송신함으로써 검사체의 내부 해부구조(internal anatomy)를 스캔한다. 초음파는 서로 다른 음향 임피던스(acoustic impedance)를 가지는 내부 조직들의 인터페이스들(interfaces)에서 반사되어 에코들(echoes)을 생산한다. 변환기는 이 에코들을 수신하여 이 에코들을 전기 초음파 신호들로 변환한다. 초음파 시스템은 상기 초음파 신호들에 일련의 처리 단계들을 적용하여, 임상 의에 의한 분석을 위해 제어 콘솔에 디스플레이되는 영상 또는 일련의 영상들을 생산한다. 수신된 에코의 강도를 근거로 형성된 영상들은 B-모드 영상들이라 칭해진다. 또한, 시스템은 혈액과 같은 유체의 흐름을 표시하는 컬러 영상들을 생산하기 위하여 초음파 신호들의 도플러 이동(Doppler shift)을 측정할 수 있으며, 진단을 위해 유용한 추가적인 분석들을 수행할 수 있다.

[0003]

통상적인 의료용 초음파 변환기는, 전기 신호들에 의해 구동될 때 초음파를 송신하고, 되돌아오는 에코들(returning echoes)을 수신하고 그리고 수신된 에코들을 복수의 아날로그 신호들로 변환하는 압전 소자들(piezoelectric elements)의 어레이를 포함한다. 복수의 아날로그-디지털 변환기들(ADC들)이 아날로그 신호들을 샘플링하며, 각각의 ADC가 디지털 신호 샘플들의 스트림을 생산한다. 신호 샘플들에 대한 전형적인 디지털 신호 처리는, 빔형성, 다운컨버전(downconversion), B-모드(밝기) 처리 및/또는 도플러 처리, 스캔-변환 및 디스플레이를 위한 영상 처리를 포함한다. 빔형성기(beamformer)는 시야(field of view) 내의 특정 방향에 대응하는 빔형성 샘플들(beamformed samples)의 어레이를 형성하기 위하여 신호 샘플들의 스트림들에 지연 연산 및 합 연산(delay and sum operations)을 적용한다. 빔형성기는 신호 샘플들의 스트림들에 서로 다른 지연 패턴들을 적용함으로써 시야 내의 서로 다른 방향들에 대응하는 다수의 빔형성 샘플들의 어레이들을 생산할 수 있다. 요구되는 진단 정보의 타입에 따라, B-모드 검출(B-mode detected) 샘플들 및/또는 도플러 검출(Doppler detected) 샘플들을 형성하기 위하여 B-모드 처리 및/또는 도플러 처리가 빔형성 샘플들에 대해 수행된다. 검출 샘플들의 공간 좌표들은 여전히 빔형성 샘플들의 빔 기하구조(beam geometry)에 대응한다. 스캔 변환기는 검출 샘플들의 좌표 변환(coordinate transformations)을 수행하여 디스플레이에 적합한 래스터 포맷(raster format)을 가진 데이터의 프레임들을 생산한다. 추가적인 영상 처리가 샘플들의 프레임들에 적용되어 상기 프레임들이 2 차원(2-D) 또는 3-차원(3-D) 영상들로서 디스플레이될 수 있게 해준다.

[0004]

의료용 초음파 시스템을 개선하기 위한 현재의 노력은 콘솔/카트 시스템들의 진단 성능을 증가시키는 것과 개선된 영상 품질을 가진 더 작은 휴대형 디바이스들을 개발하는 것을 지향한다. 고급 콘솔(high-end console) 또는 카트 시스템들에서, 진단 성능을 확장하도록 더 높은 해상도의 그리고/또는 3-D의 영상들을 생산하기 위하여 변환기 소자들의 개수를 증가시키는 것이 바람직하다. 변환기 소자들의 개수의 증가는 변환기 헤드(transducer head)로부터 콘솔 프로세서로 통신되는 데이터의 양을 증가시키며, 이는 더 높은 대역폭의 통신 채널 및 더 큰 케이블 연결을 요구할 수 있다. 변환기 헤드의 데이터 획득 성능은 조작 및 형태 인자들(manipulation and form factors)에 대한 요건들에 의해 제약된다. 휴대형(hand-carried) 및 소형(handheld) 초음파 디바이스들은 경제 적이며 작은 병원들, 모바일 치료 유닛들 그리고 집에서 사용하기에 바람직하다. 이러한 디바이스들에서, 배터리 수명이 또한 제약사항이다. 초음파 시스템에서 초음파 신호 데이터의 더욱 효과적인 처리, 전송 및 저장은, 전력, 데이터 전송 대역폭, 및 메모리 용량을 절약하게 할 수 있다.

- [0005] 초음파 신호 데이터의 압축은 콘솔/카트 시스템 및 휴대형 시스템 모두에 대해 이점들을 제공할 수 있다. 이러한 이점들은 시스템의 데이터 전송 대역폭, 메모리 용량 및 전력 요건들을 감소시키는 것을 포함한다. 휴대형 또는 소형 초음파 시스템에서, 이러한 이점들은 무게를 줄이고 배터리 수명을 증가시킨다. 콘솔 시스템에서, 압축은 변환기 헤드에 의해 획득되는 데이터 양의 증가 및 상기 데이터의 초음파 신호 프로세서로의 전송의 영향을 줄여준다. 계산적으로 효율적인 압축은 시스템 복잡도에 적은 영향을 미치거나 전혀 영향을 미치지 않는 압축의 이점들을 제공한다.
- [0006] 본 명세서에서 용어 "압축"은 초음파 신호 샘플들의 데이터 압축을 지칭하기 위해 사용되는데, 상기 데이터 압축에서 신호 샘플들을 나타내는(representing) 비트들의 수가 감소되고 신호 샘플들은 후에, 디스플레이를 위한 처리에 앞서서 압축해제(decompressing)된다. 초음파 영상 시스템에 대한 몇몇 설명들은 용어 '압축'을 데이터 압축이 아닌 "펄스 압축"의 의미하는 것으로 사용한다. 펄스 압축은 송신된 초음파 펄스들의 필터링 및/또는 변조, 그리고 수신된 초음파 펄스들의 역 필터링(inverse filtering) 및/또는 복조를 지칭한다.(예를 들어, "Parameter optimization of pulse compression in ultrasound imaging system with coded excitation"(V.Behar and D.Adam in Ultrasonics vol. 42, pp. 1101-1109, 2004.)를 참조하기로 한다. 초음파 영상 시스템에 대한 몇몇 설명들은 용어 '압축'을 데이터 압축이 아닌 "로그 압축(log compression)"을 의미하는 것으로 사용한다. 이러한 맥락에서, 로그 압축은 처리된 초음파 데이터의 대수(logarithm)(일반적으로, 디스플레이 전에 크기 검출된 데이터)를 계산하는 것을 나타낸다.(예를 들어, "Signal Processing Overview of Ultrasound Systems for Medical Imaging"(A.Murtaza et al., Texas Instruments SPRAB 12, pp. 1-26, November 2008)를 참조하기로 한다). 펄스 압축과 로그 압축은 둘 모두 시간 도메인에서 그리고 주파수 도메인에서 송신 또는 수신된 초음파 신호들의 특성들을 의도적으로 변경한다. 수신된 초음파 신호 샘플들의 데이터 압축(압축해제가 이에 후속됨)은 시간 및 주파수 도메인에서의 신호 특성들을 보존하는 처리이다. 본 명세서에서는 초음파 신호 샘플들에 대한 무손실 및 손실 압축을 참조한다. 무손실 압축에서, 압축해제 샘플들(decompressed samples)은 본래의 샘플들과 동일한 값들을 가진다. 손실 압축에서, 압축해제 샘플들은 본래의 샘플들과 유사하지만 동일하지는 않다. 본 명세서에서는 궁극적으로 디스플레이를 위한 초음파 영상을 형성하도록 처리되는, 원시의(raw) 또는 처리된 초음파 데이터의 어레이를 나타내기 위하여 용어 "프레임"을 사용한다. 본 기술분야에서 초음파 영상 시스템에 대한 설명은 또한 초음파 데이터의 프레임을 나타내기 위하여 용어 "스크린"을 사용한다. 본 명세서에서, "실시간"은 적어도 디지털 신호의 샘플 속도(sample rate)만큼 빠른 속도를 의미한다. 용어 "실시간"은 디지털 신호의 처리, 전송 및 저장을 위한 속도들을 기술하기 위해 사용될 수 있다. 샘플 속도는 ADC가 아날로그 신호의 변환 도중에 디지털 신호의 샘플들을 형성하는 속도이다. 본 기술분야에서 초음파 영상 시스템에 대한 일부 설명들은 초음파 영상들의 디스플레이를 위한 프레임 속도를 나타내기 위하여 용어 "실시간"을 사용한다. 본 명세서에서는 실시간을 프레임 속도라는 해석 대신 샘플 속도와 관련짓는다.
- [0007] 초음파 시스템에서의 데이터 압축에 대한 전의 출원들은 영상 형성을 위한 스캔 변환 전 및 후의 데이터 압축에 대한 대안들을 포함하였다. 2001년 11월 13일자로 등록된 미국 특허 6,315,722 "Ultrasonic Diagnostic Device"(Yaegashi)에서는 ADC 유닛으로부터 출력된 초음파 신호 샘플들을 저장하기 위한 시간축 확장 유닛(time axis extension unit)을 기술한다. 시간축 확장 유닛은 ADC 유닛으로부터 출력되는 속도에서 데이터를 기록하고 더 낮은 속도에서 데이터를 판독한다. 시간축 확장 유닛은 1 스크린 또는 프레임에 대해 신호 샘플들을 저장하고, 선입선출(FIFO) 메모리들을 사용하여 구현될 수 있다. 데이터 압축 유닛은 시간축 확장 유닛으로부터 판독되는 신호 샘플들을 압축한다. Yaegashi는 데이터의 1 프레임 내에서 공간적인 상관(spatial correlation)을 사용하기 위한 이산 코사인 변환(DCT)에 근거한 방법들 또는 데이터의 복수의 프레임들을 위한 MPEG 압축 방법들과 같은 영상 압축 기법들을 적용하는 것을 기술한다. (MPEG은 Moving Picture Experts Group에서 개발된 비디오 데이터 압축 표준을 지칭한다) 압축 샘플들은 하드 디스크와 같은 대용량 메모리 디바이스에 저장된다. 데이터 압축은 대용량 메모리 디바이스에서 필요한 저장 용량을 감소시킨다. 영상을 생산하기 위하여, 데이터 확장 유닛이 대용량 메모리 디바이스로부터 검색된 압축 샘플들을 압축해제한다. 필터링, 대수 변환(logarithmic conversion), 검출 및 디지털 스캔 변환을 포함하는 종래의 동작들이 영상 형성 및 디스플레이를 위하여 압축해제 샘플들에 적용된다. Yaegashi는 처리 순서에서 빔형성에 대해 개시하지 않는다.
- [0008] 미국 특허 공개, 공개 번호 제2008/0114246 "Transducer Array Imaging system"(Randall et al)은 빔 형성 전 및/또는 후에 매핑, 재샘플링 및/또는 데이터 원도잉을 사용하는 초음파 디지털 데이터 압축을 기술한다. 매핑은 신호 샘플들의 재양자화(requantizing) 또는 클리핑(clipping)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 요구되는 비트들의 수는 깊이에 따라 단조롭게 감소하여, 깊이에 근거하여 더 적은 샘플당비트(bits per sample)가 할당될 수 있다. 일부 실시예들에서, 전송 및 수신 어퍼처들 너머로 연장되는 수신 채널들로부터의 신호 샘플들이 버림

(truncation)될 수 있다. 관심 영역(ROI; region of interest)을 영상화(imaging)하기 위하여, 신호 획득 시간은 깊이 범위에 비례할 수 있으며, 따라서 최소 샘플 시간 전 및/또는 최대 샘플 시간 후에 획득된 데이터는, 상기 데이터가 영상 픽셀들의 형성에 기여하지 않는 경우에 버림될 수 있다. 일부 실시예들에서, 디스플레이 해상도가 완전 해상도 영상화에 요구되는 것보다 낮으면 데이터는 더 적은 샘플들로 재샘플링될 수 있고, 따라서 전송되는 샘플들의 수가 줄어든다.

[0009] 2000년 3월 28일 등록된 미국 특허 6,042,545 "Medical Diagnostic Ultrasound System and Method for Transform Ultrasound Processing"(Hossack et al.)는 빔형성 후의 초음파 데이터에 대한 변환 압축 기법들을 기술한다. 빔형성에 대한 대안은 ADC 전의 아날로그 빔형성 또는 ADC 후의 디지털 빔형성을 포함한다. 빔형성기(beamformer)는 인-페이즈 및 쿼드러처(I 및 Q) 샘플들을 생성하며, 또는 대안적으로, 라디오 주파수(RF) 샘플들을 생성한다. 2차원(2-D) 프레임에 대응하는 빔형성된 샘플들이 필터링되고 변환되어 변환 도메인 표현(transform domain representation)을 생성한다. 변환 도메인 샘플들은 압축을 위해 양자화 및/또는 엔코딩된다. 압축은 무손실 또는 손실 압축일 수 있다. DCT 또는 DWT(Discrete Wavelet Transform)와 같은 임의의 변환, 양자화 함수 및 엔코딩 함수가 데이터 프레임을 압축하기 위하여 적용될 수 있다. 예를 들어, JPEG 압축은 데이터의 프레임들을 데이터의 2-D 블록들로 분할하는 단계, 각각의 블록들에 대해 2-D DCT를 사용하여 변환하는 단계, 변환 도메인 샘플들을 양자화하는 단계, 블록들 사이의 DC(0 주파수) 변환 샘플들을 차동적으로 엔코딩하는 단계, 그리고 양자화된 변환 도메인 샘플들의 2-D 블록들을 엔트로피 엔코딩하는 단계(예를 들어, 허프만 엔코딩)를 포함한다. JPEG 압축 알고리즘은 손실 또는 무손실 압축으로 구성될 수 있다(JPEG 압축은 Joint Photographic Experts Group에 의해 개발된 표준 영상 압축 방법을 나타낸다). 필터링과 같은 다양한 영상 처리 기법들을 위한 변환 도메인에서의 추가적인 동작들은, 공간 도메인에서보다 변환 도메인에서 계산적으로(computationally) 더 효율적이다. 예를 들어, 공간 도메인에서의 2-D 필터링은 2-D 컨벌루션 연산들(convolution operations)을 사용한다. 변환 도메인 2-D 필터링은 변환 도메인 필터 계수들에 의해 더 효율적인 조작(multiplications)을 사용한다. 압축된 변환 도메인 데이터는 나중의 영상 형성을 위해 저장될 수 있다. 압축해제를 위하여, 역전 엔코딩(inverse encoding) 및 변환 함수들이 디스플레이를 위한 처리 전에 적용된다.

[0010] 2005년 2월 15일 등록된 미국 특허 6,855,113 "Diagnostic Information Generation Apparatus and Ultrasonic Diagnostic System"(Amemiya et al.)는 초음파 유닛으로부터 정보 유닛으로의 무선 송신에 앞서서 초음파 데이터의 프레임들을 압축하는 것을 기술한다. 초음파 유닛은 변환기 및 후속적인 빔형성, B-모드 영상화 및 도플러 영상화를 위한 프로세서를 포함한다. 범용 데이터 압축 표준들이 신호 프레임을 위한 JPEG 압축 또는 복수의 프레임들을 위한 MPEG 압축과 같은 B-모드 영상화 데이터 또는 도플러 영상화 데이터에 적용된다. 압축된 데이터는 표준 무선 통신 양식을 사용하여 정보 유닛으로 전송된다. 정보 유닛은 압축 표준에 따라 수신된 데이터를 압축해제하는 중앙 처리 유닛(CPU)을 포함한다. CPU는 디스플레이를 위하여 압축해제된 B-모드 영상화 데이터 및 압축해제된 도플러 영상화 데이터를 더 처리한다.

[0011] PCT 공개 출원 공개 번호 W097/09930 "Ultrasonic Diagnostic Apparatus for Compressing and Storing Data in CINE Memory"(1997년 3월 20일 공개)(Lee)는 CINE 메모리 내로의 저장에 앞서서 초음파 데이터를 압축하는 것과 그리고 CINE 메모리로부터 검색된 데이터를 압축해제하는 것을 기술한다. CINE 메모리는 시간에 의해 조직(organize)된 몇개의 블록들을 포함한다. 이러한 시스템에서, 초음파 프로브는 ADC 전에 빔형성을 수행하며, 따라서 ADC 출력 데이터가 빔형성 샘플들을 나타낸다. 압축이 데이터 프레임에 적용되고 스캔 변환 전 또는 후에 적용될 수 있다. Lempel-Ziv-Welch(LZW) 알고리즘이 압축 및 압축해제에 적용된다. LZW 알고리즘은 데이터 내의 반복되는 비트 패턴들을 검출하고 상기 반복되는 패턴들에 코드를 할당하는 것에 근거한다. CINE 메모리로부터 검색된 프레임에 대한 압축된 데이터가 압축해제되고 디스플레이를 위해 더 처리된다.

[0012] 일본 특허 출원, 공개 번호 2005-081082 "Ultrasonograph and Ultrasonic Data Compression Method"(2005년 3월 31일 공개)(Akihiro)는 아날로그 빔형성 후 초음파 데이터를 압축하기 위한 세가지 실시예들을 기술한다. 첫 번째 실시예에서, ADC는 아날로그 빔형성기 출력 신호들의 I 및 Q 샘플들을 생성한다. 압축기는 인접 빔들의 I, Q 샘플들 사이의 차분들(differences)을 계산하고, 그 후 상기 차분들에 대한 RLE(run-length encoding)가 수행되어 압축된 데이터를 형성한다. 압축 데이터는 메모리에 저장된다. 메모리로부터 검색된 압축 데이터는 압축해제되고 영상 디스플레이를 위해 처리된다. 제2 실시예에서, ADC는 아날로그 빔형성기 출력 샘플들의 RF 샘플들을 생성한다. 압축기는 인접 빔들의 RF 샘플들 사이의 차분들을 계산하고 RLE가 이에 후속한다. 압축 샘플들(compressed samples)이 메모리에 저장되고, 검색되고, 압축해제되며, 영상 디스플레이를 위하여 처리된다. 제3 실시예에서, 압축 전에 빔형성기 출력이 더 처리되어 B-모드 영상 프레임들 및 도플러 영상 프레임들을 생성한다. 압축기는 압축된 데이터 프레임들을 생성하기 위하여 프레임 대 프레임 차분들(frame to frame

differences)을 계산한다. 압축된 데이터 프레임들이 메모리 내에 저장되고, 검색되고, 압축해제되며, 디스플레이를 위해 더 처리된다.

[0013] 1988년 6월 21일 등록된 미국 특허 4,751,929 "Ultrasonic Bloodstream Diagnostic Apparatus with Dual Displays of Velocity Profiles and Average Flow Velocity"(Hayakawa et al.)는 도플러 주파수 검출 데이터를 압축하는 것을 기술한다. 압축기는 주파수 스펙트럼 샘플들의 실수 및 허수 부분들(real and imaginary parts)의 크기 제곱을 계산하는 적산 및 가산 회로(squaring and adding circuit)의 출력에 대해 동작한다. 압축기는 가산기로부터 각각의 샘플 출력의 비트들을 재엔코딩하여 표현(representation)에서 비트들의 수를 감소시킨다. 압축기는 가산기 출력 샘플에 대해 동작하여, 가수(mantissa) 내의 최상위 비트(most significant bit)의 위치(location)를 엔코딩하고 고정 개수의 최상위 비트들을 보존하고 나머지 최하위 비트들(least significant bits)을 제거한다. 각각의 샘플에 대한 결과적인 압축 워드는 고정 개수의 최상위 비트들 및 본래의 샘플로부터 제거된 최하위 비트들의 개수를 나타내는 코드를 포함한다. 최하위 비트들의 가변 개수가 각각의 샘플로부터 제거되어, 압축은 손실압축이 된다.

[0014] "A Novel B-Mode Ultrasound Image Compression Method Based on Beam Forming Data"(1998 Proc. Intl. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Vol. 20 No. 3, PP. 1274-76, Li et al.) 논문은 원격리 초음파 시스템(tele-ultrasound system)에서의 전송을 위하여 빔형성 샘플들을 압축하는 것을 기술한다. DWT는 128x512 빔형성 샘플들의 프레임에 적용된다. 수직 방향에서의 서브영상들의 계수들이 양자화되고 산술 코딩을 사용하여 엔코딩된다. 압축해제 후, 128x512 압축해제 샘플들의 프레임에 스캔 변환이 적용되어 디스플레이를 위한 512x512 샘플들의 프레임을 형성한다.

[0015] 몇개의 문헌들은 영상 형성을 위한 스캔 변환 후에 초음파 영상들을 압축하기 위한 서로 다른 방법들을 기술한다. 몇몇 예들은 하기를 포함한다. "Comparative Survey of Ultrasound Images compression Methods Dedicated to a Tele-Echography Robotic System,"(2001 Proc. 23rd Annual IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Intl. Conf, pp. 2461-64, Delgorge et al.) 논문은 초음파 신호들에 서로 다른 압축 방법들을 적용하는 것을 기술한다. 본 방법은 푸리에 변환(Fourier Transform), DCT, 4-분 나무풀 분해(quadtree decomposition), DWT, 프랙탈, 히스토그램 경계화(histogram thresholding) 및 런 길이 코딩을 포함한다. 본 방법은 스캔 변환 후 512x512 초음파 영상들에 적용된다. "Despeckling of Medical Ultrasound Images Using Data and Rate Adaptive Lossy Compression"(IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 24, No. 6, June 2005, pp. 743-54, Gupta et al.)에서는 초음파 영상에서 스펙클(speckle)을 제거하는 알고리즘과 압축을 결합하는 것에 대해 기술한다. DWT 후에 스펙클 제거 알고리즘, 양자화 및 엔트로피 엔코딩이 수행된다. "A Tele-Operated Mobile Ultrasound Scanner Using a Light-Weight Robot"(IEEE Trans. Information Technology in Biomedicine, Vol.9, No.1, March 2005, pp. 50-58, Delgorge et al.)은 초음파 영상들에 다양한 무손실 및 손실 압축 방법들을 적용하는 것을 기술한다. 무손실 방법은 Huffman, 산술 코딩, Lempel-Ziv, 런 길이 코딩 및 Fano 코딩을 포함한다. 손실 방법은 JPEG, JPEG-LS 및 JPEG2000을 포함하는 다양한 JPEG 버전들을 포함한다. "Maximum Likelihood Motion Estimation in Ultrasound Image Sequences"(IEEE Signal Processing Letters, Vol.4, No.6, June 1997, pp. 156-7, Strintzis et al.)는 MPEG 압축을 일련의 초음파 영상들에 적용하는 것을 기술한다. 본 방법은 일련의 영상들 내의 연속적인 프레임들 사이의 픽셀들의 8x8 블록들에 대한 모션 벡터들을 검출하는 것을 포함한다. 모션 벡터들은 프레임 대 프레임(frame to frame) MPEG 압축을 위해 엔코딩된다.

[0016] 공동 소유 미국 특허 7,009,553('553 특허) "Adaptive Compression and Decompression of Bandlimited Signals"(2006년 3월 7일)는 특정 대역제한 신호들(bandlimited signal)의 압축 및 압축해제를 위한 알고리즘들을 기술한다. 공동 소유 동시계속 출원인 미국 특허 출원 제12/477062('062 출원)(2000년 6월 20일 출원) "Ultrasound Signal Compression"은 빔형성 동작 전의 ADC(analog to digital converters)로부터 출력된 초음파 신호 샘플들의 압축 및 압축해제에 대해 기술한다. 본 출원은 초음파 신호 샘플들에 적용된 빔형성 동작들로부터 기인된 초음파 빔형성 샘플들(ultrasound beamformed samples)의 압축에 관한 것이다.

[0017] 초음파 영상 시스템의 컴포넌트들 사이에서 초음파 신호 데이터에 대한 효율적인 데이터 전송이 필요하다. 시스템 복잡도에 최소의 영향을 주면서 데이터 전송을 향상시키기 위하여 초음파 빔형성 샘플들에 대한 계산적으로 효율적인(computationally efficient) 데이터 압축이 필요하다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

- [0018] 본 발명의 실시예들은 위에 기술된 종래의 문제점들을 고려하여 이루어진 것이다. 본 발명은 초음파 영상 시스템에서 수신 빔형성기에 의해 생성된 하나 이상의 빔들을 나타내는 빔형성 샘플들을 압축하기 위한 장치 및 방법을 제공한다. 수신 빔형성기는 샘플링 윈도우 동안에 수신된 초음파 신호 샘플들의 복수의 시퀀스들에 적용되어 하나 이상의 빔들을 형성하며, 각각의 빔은 빔형성 샘플들의 어레이로 나타내어진다. 초음파 신호 샘플들의 시퀀스들은 샘플링 윈도우 동안 변환기 소자들에 의해 출력된 아날로그 초음파 신호들의 아날로그-디지털 변환에 의해 생성된다. 본 발명의 방법 및 장치는 압축 빔들(compressed beams)을 형성하기 위하여 빔들을 압축하는 방법을 제공하며, 상기 빔들을 압축하는 방법은 대응하는 압축 빔의 압축 빔형성 샘플들을 형성하기 위하여 특정 빔을 나타내는 어레이 내의 빔형성 샘플들을 압축하는 것을 포함한다. 어레이 내의 특정 빔형성 샘플의 압축은 부분적으로 어레이 내의 적어도 하나의 다른 빔형성 샘플의 특성에 의존한다. 각각의 빔은 샘플링 윈도우에 대응하는 또 다른 빔에 대해 개별적으로 압축된다. 압축 빔은 디지털 인터페이스를 거쳐 신호 프로세서로 전송된다. 신호 프로세서에서, 압축 빔들은 영상 형성을 위한 프로세싱 전에 압축해제된다.
- [0019] 본 발명의 장치의 실시예에서, 압축기는 하나 이상의 압축 유닛들을 포함한다. 대응하는 압축 유닛은 압축 동작들을, 샘플링 윈도우에 대응하는 다른 빔들과 개별적으로, 수신 빔형성기로부터 출력된 대응하는 빔에 대해 적용한다. 대응하는 압축 유닛은 부분적으로 대응 빔의 적어도 하나의 다른 빔형성 샘플의 특성에 근거하여 특정 빔형성 샘플을 압축하도록 되어있다.
- [0020] 본 발명의 또 다른 양상에서, 압축 동작들은 특정 빔의 빔형성 샘플들의 그룹들에 블록 부동 소수점 엔코딩을 적용하여 압축 빔형성 샘플들의 그룹들을 형성하는 것을 포함한다. 그룹 멀티플렉서는 두개 이상의 압축 빔들에 대응하는 그룹들을 인터리브(interleave)하여 디지털 인터페이스를 거쳐 전송하기 위한 멀티플렉스 시퀀스(multiplexed sequence)를 형성한다. 수신된 멀티플렉스 시퀀스의 압축된 그룹들은 압축해제되어 압축해제된 빔형성 샘플들의 그룹들을 형성한다. 그룹 디멀티플렉서는 압축해제된 그룹들을 재배열(rearrange)하여 대응하는 압축해제된 빔들에 대한 본래의 그룹 순서를 복구(restore)한다. 본 발명의 또 다른 실시예에서, 압축 동작들은 대응하는 빔의 빔형성 샘플들 사이의 차분들(differences)을 계산하고 그후 압축 빔을 형성하기 위하여 차 샘플들에 대해 블록 부동 소수점 엔코딩을 행하는 것을 포함한다.
- [0021] 동일한 빔 내의 또 다른 빔형성 샘플의 특성에 부분적으로 의존하여 특정 빔형성 샘플을 압축함으로써 빔 내의 빔형성 샘플들 사이의 상관(correlation)이 이용된다. 블록 부동 소수점 엔코딩을 포함하는 실시예에서, 상기 특성은 빔 내의 빔형성 샘플들의 그룹에서 최대 크기를 가지는 빔형성 샘플에 대한 지수 값(exponent value)이다. 블록 부동 소수점 엔코딩은 그룹 내의 각각의 빔형성 샘플을 상기 지수 값 및 빔형성 샘플 자체의 값에 근거하여 나타낸다. 빔 내의 빔형성 샘플들의 쌍들 사이의 차분들을 계산하는 것을 포함하는 실시예에서, 상기 특성은 쌍 내의 각각의 빔형성 샘플의 값이다. 각각의 빔을 샘플링 윈도우 내에서 다른 빔들에 대해 개별적으로 압축하는 것은 효율적인 계산이 되게 하고 압축 빔들의 형성에 있어서 낮은 레이턴시(low latency)가 되게 한다.

발명의 효과

- [0022] 초음파 영상 시스템에서 빔형성 샘플들을 압축하는 것의 이점은 압축 빔형성 샘플들을 디지털 인터페이스를 통해 신호 프로세서로 전송하기 위해 필요한 대역폭의 감소를 포함한다. 수신 빔형성기 및 압축기가 변환기 헤드에 하우징된 시스템 구조에서, 상기 디지털 인터페이스는 유선(wired) 또는 무선(wireless) 통신 링크일 수 있다. 유선 통신 링크에서, 디지털 인터페이스는 PCIe(Peripheral Component Interconnect Express) 케이블 링크 또는 광섬유 링크와 같은 저가의 케이블 어셈블리에 의해 구현될 수 있다. 무선 통신 링크에서, 요구되는 감소된 대역폭은 무선 링크를 구현하는 송신기들 및 수신기들의 비용 및 복잡도를 줄여줄 수 있다. 디지털 인터페이스의 대역폭이 고정된(fixed) 시스템 구조에서, 빔형성 샘플들의 압축은 압축된 형태의 더 많은 빔들이 영상 형성을 위해 신호 프로세서로 전송될 수 있게 한다. 신호 프로세서는 향상된 해상도 및 더 큰 시야(larger field of view)를 가진 초음파 영상을 생성하기 위하여 더 많은 빔형성 샘플들을 사용할 수 있다.
- [0023] 본 발명의 또 다른 이점은 압축 빔형성 샘플들의 효율적인 저장을 포함한다. 빔형성 샘플들이 메모리 또는 다른 저장 매체에 저장된 시스템 구조에서, 압축 빔형성 샘플들을 저장하기 위해 요구되는 저장 용량은 압축되지 않은 빔형성 샘플들을 저장하기 위해 요구되는 저장 용량에 비해 감소된다.
- [0024] 본 발명의 또 다른 이점은 계산적으로 효율적인 압축 및 압축해제를 포함한다. 압축 및 압축해제의 구현이 덜 복잡하며, 시스템 자원에 대한 부담을 줄여주고 비용을 줄여준다. 본 발명의 다른 양상들 및 이점들은

하기의 도면, 상세한 설명, 및 청구항들로부터 알 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025]

- 도 1은 종래 기술에 따른 일반적인 의료용 초음파 시스템의 예의 블록도이다.
- 도 2는 종래 기술에 따른 초음파 신호 프로세서(130)의 블록도이다.
- 도 3은 종래 기술에 따른 빔형성 전의 초음파 신호 샘플들의 플롯이다.
- 도 4는 종래 기술에 따른 하나의 빔형성기 출력 채널에 대응하는 빔형성 초음파 신호의 인-페이지 샘플들의 플롯이다.
- 도 5는 수신 빔형성기로부터 출력된 빔형성 샘플들의 압축을 포함하는 초음파 영상 시스템의 블록도이다.
- 도 6은 더 적은 데이터 포트들을 거쳐 전송하기 위하여 압축 빔형성 샘플들을 멀티플렉싱하는 것을 포함하는 초음파 영상 시스템의 블록도이다.
- 도 7은 $N_{GROUP}=4$ 인 블록 부동 소수점 엔코더의 블록도이다.
- 도 8은 엔코딩을 위한 샘플의 n -비트들을 선택하는 예를 도시한다.
- 도 9는 감소된 가수를 나타내기 위한 비트들을 선택하는 예를 도시한다.
- 도 10은 n_{exp} , n_{LSB} , m_{exp} 의 예시적인 값들의 표이다.
- 도 11은 감소된 가수를 사용하는 블록 부동 소수점 엔코딩(block floating point encoding)의 블록도이다.
- 도 12는 압축 빔들의 세트의 압축 그룹들을 멀티플렉싱하는 예를 도시한다.
- 도 13은 도 12의 멀티플렉싱 예에 대응하는 디멀티플렉싱의 예를 도시한다.
- 도 14는 차분 연산을 포함하는 압축 유닛의 블록도이다.
- 도 15는 도 14에 관하여 기술된 압축 동작들에 대응하는 압축해제 동작들의 블록도이다.
- 도 16은 디코딩된 차분 샘플들의 그룹들을 디멀티플렉싱하는 블록도이다.
- 도 17은 서로 다른 중심 주파수들을 지닌 빔형성 샘플들을 압축하기 위한 대안들 기저의 원리들을 보여주는 예를 제공한다.
- 도 18은 빔형성 샘플들의 중심 주파수에 근거한 압축 알고리즘의 블록도이다.
- 도 19는 중심 주파수에 근거하여 수정된 샘플들을 생성하는 동작들(832)을 보여준다.
- 도 20은 도 17의 예들을 위한 신호 샘플들 $x(i)$ 과 $x(i-j)$ 의 합 또는 차를 보여준다.
- 도 21은 도 18과 관련하여 기술된 압축 방법을 위하여 압축해제기(240)에 의해 수행되는 동작들의 블록도이다.
- 도 22는 디코딩된 수정 샘플들의 그룹들을 디멀티플렉싱하는 블록도이다.
- 도 23은 압축해제기의 GPU 내에서의 구현 및 초음파 영상을 생성하기 위한 다른 동작들의 블록도이다.
- 도 24는 압축해제기의 CPU/GPU 디바이스 내의 구현 및 초음파 영상을 생성하기 위한 다른 동작들의 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026]

도 1은 종래 기술에 따른 일반적인 의료용 초음파 시스템의 예의 블록도이다. 송신 빔형성기(transmit beamformer)(104)는 디지털 또는 아날로그 빔형성기와 같은 본 기술분야에서 알려져 있는 구성의 빔형성기이다. 송신 빔형성기(104)는 시스템 제어기(102)에 응답하여 하나 이상의 여기 신호들(excitation signals)을 생성한다. 여기 신호는 일반적으로 1 내지 20 MHz 범위에 있는 관련된 중심 주파수를 가진다. 송신 빔형성기(104)로부터의 여기 신호들이 송/수신 스위치(112)를 통해 초음파 변환기(110)에 제공된다. 초음파 변환기(110)는 변환기 소자들(110i)의 어레이를 포함한다. 초음파 변환기(110)는 본 기술 분야에서 알려져 있는 구성으로서, 검사되고 있는 검사체로의 초음파의 연결(coupling)을 가능하게 해준다. 변환기 소자들(110i)은 초음파의 런칭(launching) 및 수신을 모두 행한다. 송/수신 스위치(112)는 송신 모드 및 수신 모드를 위한 스위칭 회로를 포함한다. 송신 모드에서, 송/수신 스위치(112)는 송신 빔형성기(104)로부터의 여기 신호들을 변환기(110)에 연결

(coupling)한다. 수신 모드에서, 송/수신 스위치(112)는 변환기(110)로부터 수신된 초음파 신호들을 아날로그 전단(analog front end)(AFE)(114)에 연결(coupling)한다. 송신을 위하여, 변환기 소자들(110i)이 여기 신호들을 변환하여 초음파 음향 파형들(ultrasonic acoustic waveforms)을 생성한다. 특히, 변환기(110)는 상기 여기 신호들을 송신 빔형성기(104)에 응답하여 검사체 내에서의 방향들로 이동(traveling)하는 초음파 파형들로 변환한다. 서로 다른 음향 임피던스를 가진 산란 사이트들(scattering sites)이 초음파 파형들을 반사하여, 에코들이 변환기(110)로 되돌아오게 한다. 복수의 변환기 소자들(110i)이 에코들을 수신하여 그것들을 복수의 아날로그 초음파 신호들로 변환한다. 송/수신 스위치(112)는 샘플링 윈도우 동안에 변환기(110)로부터의 복수의 아날로그 초음파 신호들을 AFE(114)에 연결한다. 샘플링 윈도우는 시간 간격(interval of time)을 나타내며, 상기 시간 간격 동안, 수신된 에코들은 검사체 내의 요구되는 깊이 범위 내의 산란 사이트들로부터의 반사를 나타낸다. 제어기(102)는 사용자 입력 또는 스캔 프로토콜에 따라 샘플링 윈도우를 설정하며 송/수신 스위치(112)에 시간 제어 정보를 제공한다. 송/수신 스위치(112)는 샘플링 윈도우 동안 복수의 아날로그 초음파 신호들을 병렬적으로(in parallel) 출력한다. AFE(114)는 아날로그-디지털 변환을 위한 준비동안 복수의 아날로그 초음파 신호들을 증폭하고 필터링한다. AFE(114)는 각각의 아날로그 신호 채널(113i)을 위한 저 잡음 증폭기(LNA: low noise amplifier), 가변 이득 증폭기(VGA: variable gain amplifier) 및 저역 필터를 포함할 수 있다. 수신된 신호 강도가 시간에 따라 감소하므로, VGA는 시간에 따라 이득을 증가시키는 이득 프로파일을 적용한다. 시간에 따른 신호 강도의 감소는 초음파가 더 많은 조직을 통하여 더 긴 경로를 이동함에 따른 상기 초음파의 감쇠에 기인한 것이다. ADC 뱅크(120)는 샘플링 윈도우 동안에 수신된 복수의 아날로그 초음파 신호들을 병렬적으로(in parallel) 복수의 초음파 신호들의 시퀀스들로 변환하기 위한 복수의 ADC들을 포함한다. 각각의 ADC 입력 채널(115i)에서의 아날로그 초음파 신호는 대응하는 ADC 출력 채널(121i)에서 초음파 신호 샘플들의 스트림으로 변환된다. 초음파 신호 샘플들은 0이 아닌 중심 주파수를 가지며, 상기 중심 주파수는 일반적으로 변환기의 압전 물질(piezoelectric material)의 고유, 공진 주파수(natural, resonant frequency)에 관련된 수신된 초음파 신호들의 무선 주파수(RF)에 대응한다.

[0027] 초음파 신호 프로세서(130)는 초음파 신호 샘플들로부터 진단 정보를 추출하는 동작들을 수행하는바, 상기 동작들은 도 2와 관련하여 더 설명되는 빔형성, 다운컨버전, B-모드 처리 및/또는 도플러 처리를 포함한다. 초음파 신호 프로세서(130)는 디지털 신호 프로세서(DSP), 필드-프로그램가능 게이트 어레이(FPGA), 컴퓨터의 마이크로 프로세서 또는 CPU와 같은 하나 이상의 프로세서들에 구현될 수 있다. 스캔 컨버터(140)는 처리된 샘플들의 프레임에 대한 좌표 변환을 수행하여, 라스터(raster)(rectilinear(직선)) 포맷을 가진 초음파 영상 샘플들의 프레임을 생성한다. 영상 프로세서(150)는 추가적인 영상 향상 동작들(image enhancement operations)을 초음파 영상 샘플들에 적용할 수 있다. 디스플레이(160)는 사용자에게 의한 분석을 위한 2차원 또는 3차원 영상들을 제공한다.

[0028] 도 2는 종래 기술에 다른 초음파 신호 프로세서(130)의 블록도이다. 의료용 초음파 시스템들은 ADC 뱅크(120)로부터의 RF 초음파 신호 샘플들에 대해 디지털 빔형성 동작들을 수행할 수 있다. 수신 빔형성기(160)는 초음파 신호 샘플들에 지연, 아포다이제이션(감쇠(attenuation)) 및 추가(addition) 동작들을 적용하여 시야(field of view)의 특정 방향, 또는 각도에 대응하는 빔 또는 빔형성 샘플들의 1-D 어레이를 형성한다. 수신 빔형성기(160)는 계산되는 빔의 방향에 따른 지연 패턴을 초음파 신호 샘플들에 적용한다. 수신 빔형성기(160)는 시야에서의 다수의 방향들에 대응하는 빔형성 샘플들의 다수의 1-D 어레이들을 생성한다. 수신 빔형성기(160)는 빔형성(BF) 계산기(164)의 지연 및 추가 동작들(delay and addition operations)을 위하여 초음파 신호 샘플들을 저장하기 위한 빔형성기(BF) 메모리(1620)를 포함한다. BF 계산기(164)는 동일한 수신 펄스에 대해 BF 메모리(162)로부터 검색된 초음파 신호 샘플들을 사용하여 복수의 빔들을 형성할 수 있다. BF 계산기(164)는 또한 계산된 빔들의 위상 해상도(phase resolution)를 향상시키기 위하여 초음파 신호 샘플들에 보간(interpolation) 동작들을 적용할 수 있다. 수신 빔형성기(160)는 또한 공간 윈도우 기능들(spatial windowing functions) 또는 아포다이제이션(apodization)을 구현하기 위한 추가적인 동작들 전에 신호 샘플들에 가중 함수들(weighting functions)을 적용할 수 있다. 각각의 각도에 대해 계산된 빔형성 샘플들은 대응하는 빔형성기 출력 채널(161i)에 제공된다. 수신 빔형성기(160)는 일반적으로, ADC 출력 채널들(121i)을 포함하는 입력 채널들 보다 적은 출력 채널들(161i)을 가진다. 이러한 구성에서, 빔형성 샘플들은 RF 중심 주파수를 가진다. 디지털 다운 컨버터(DDC)(170)는 빔형성 샘플들(beamformed samples)을 기저대역으로 복조하여 각각의 빔에 대해 복소 기저대역(complex baseband) I 및 Q 샘플들을 생성한다. DDC(170)에 대한 대안으로서, 또는 DDC(170)에 부가하여, 대역 통과 필터(bandpass filter)가 요구되는 주파수에 중심을 둔 주파수 대역에서 빔형성 샘플들에 적용될 수 있거나 또는 DDC(170)가 빔형성 샘플들을 기저대역 대신 중간 주파수(IF; intermediate frequency)로 복조할 수 있다. 본 기술분야의 대안적인 구조는 빔형성 전의 초음파 신호 샘플들의 아날로그-디지털 변환 및 디지털 다운컨

버전 전에 아날로그 빔형성을 포함한다.

- [0029] 진단 정보 프로세서(180)는 요구되는 타입의 초음파 영상에 대한 I, Q 샘플들에 대해 적합한 동작들을 수행한다. B-모드 처리는 에코 신호의 강도를 나타내는 정보를 생성한다. B-모드 영상을 위해 검출된 샘플들을 형성하기 위하여 I, Q 샘플들의 크기들이 계산될 수 있다. 도플러 처리는 속도, 속도의 편차 및 I, Q 샘플들로부터의 에너지를 추정하여 도플러 검출(Doppler detected) 샘플들을 형성한다. B-모드 검출 샘플들 및 도플러 검출 샘플들의 공간 좌표들은 빔형성 샘플들의 기하구조에 대응한다. 스캔 컨버터(140)는 검출된 샘플들의 좌표 변환을 수행하여 디스플레이에 적합한 래스터 포맷을 가진 데이터 프레임들을 생성한다. 영상 프로세서(150)는 2-차원 또는 3-차원 영상들로서 디스플레이 전에 샘플들의 프레임들에 대한 추가적인 영상 처리를 수행한다.
- [0030] 도 3은 빔형성 전의 초음파 신호 샘플들의 플롯이다. 이 플롯은 ADC들의 어레이 중 하나의 ADC에 의해 샘플링된 4개의 펄스 에코들에 대한 동상(in-phase) 샘플들을 디스플레이한다. 이 예에서, I, Q 샘플들을 형성하기 위하여, 빔형성 전에, ADC로부터 출력된 초음파 신호 샘플들에 디지털 다운 변환이 적용되었다. 도 4는 하나의 빔형성기 출력 채널에 대응하는 빔형성 초음파 신호의 동상 샘플들의 플롯이다. 이 예에서, 빔형성기는 I, Q 샘플들에 지연 및 가중 함수들을 적용함으로써 복수의 ADC들로부터 출력된 I, Q 샘플들의 복수의 시퀀스들을 결합한다.
- [0031] 도 5는 선호되는 실시예에 따라, 수신 빔형성기(160)에 의해 생성된 빔형성 샘플들을 압축하는 것을 포함하는 초음파 영상 시스템의 블록도이다. 압축기(210)는 복수의 압축 유닛들(210i)을 포함하며, 각각의 압축 유닛은 대응하는 빔형성기 출력 채널(161i)에 압축 동작들을 적용한다. 압축 유닛(210i)은 압축기 출력(211i)에서 압축 빔형성 샘플들의 대응 시퀀스를 생성하기 위하여 특정 빔을 나타내는 빔형성 샘플들의 1-D 어레이에 압축 동작들을 적용한다. 특정 빔의 빔형성 샘플들은 다른 빔들을 나타내는 빔형성 샘플들에 대해 개별적으로(independently) 압축된다. 대안적으로, 압축 유닛(210i)은 복수의 빔형성기 출력 채널들(161i)로부터 수신된 복수의 빔들을 나타내는 빔형성 샘플들을 압축할 수 있다. 이 대안에서, 압축 유닛(210i)은 서로 다른 빔들을 나타내는 빔형성 샘플들에 대해 서로 개별적으로 압축 동작들을 적용한다. 압축 빔형성 샘플들은 디지털 인터페이스(220)를 거쳐 진단 정보 프로세서(180)로 전송된다. 압축해제기(240)는 수신된 압축 데이터를 압축해제하여 진단 정보 프로세서(180)에 의한 추가의 신호 처리 동작들을 위한 빔형성 샘플들의 1-D 어레이들을 재구성한다. 압축 빔형성 샘플들의 전송에 요구되는 디지털 인터페이스(220)의 데이터 전송 대역폭은 압축되지 않은 빔형성 샘플들의 전송에 요구되는 대역폭에 비해 감소된다.
- [0032] 처리 순서의 어떤 시점에서 처리된 초음파 신호들이 IF 또는 기저대역(baseband)으로 다운컨버팅(downconverting)된다. 다운컨버전은 ADC 뱅크(120)에 의한 아날로그-디지털 변환의 전 또는 후, 빔형성 후 그리고 압축 전, 또는 압축해제 후에 적용될 수 있다. 다운컨버전이 압축 전에 적용될 때, 압축기(210)에 입력되는 빔형성 샘플들은 중간 주파수(IF; intermediate frequency)에서 또는 0 주파수(기저대역)에서 중심 주파수를 가질 것이다. 다운컨버전이 압축해제 후 적용될 때, 압축기(210)에 입력되는 빔형성 샘플들은 RF 중심 주파수를 가질 것이다. 본 설명은 빔형성 샘플들이 실수치(real-valued) 샘플들임을 가정한다. 대안적으로, ADC들(121i)이 쿼드러처 샘플링을 수행하거나 압축 전에 쿼드러처 다운컨버전이 적용된다면, 빔형성 샘플들은 I 및 Q 성분들을 가질 것이다. 이 상화에서, 압축기(210)는 빔형성 샘플들의 I 성분과 Q 성분을 개별적으로 처리할 것이다.
- [0033] 압축 빔형성 샘플들이 샘플당 더 적은 비트들을 가지므로, 디지털 인터페이스(220)에 연결하기 위한 데이터 포트들은 초과 대역폭(excess bandwidth)을 가질 수 있다. 압축 빔형성 샘플들은 디지털 인터페이스(220)를 통한 전송을 위한 더 적은 데이터 채널들을 형성하기 위하여 멀티플렉싱될 수 있다. 도 6은 더 적은 데이터 포트들을 통한 전송을 위하여 압축 빔형성 샘플들을 멀티플렉싱하는 것을 포함하는 초음파 시스템의 블록도이다. 수신 빔형성기(160)는 각각의 ADC 출력들(121i)로부터 초음파 신호 샘플들의 N개의 스트림들(X_1 내지 X_N)을 수신하고, 빔형성기 출력 채널들(161i)에서 J개의 빔들(B_1 내지 B_J)을 생성한다. 압축 유닛들(210i)은 압축 빔형성 샘플들의 J개의 대응 스트림들(C_1 내지 C_J)을 생성한다. 감소된 비트율(bit rate)을 가진 압축 빔형성 샘플들이 데이터 포트들(270i)에 제공된다. 바람직하게는, 데이터 포트들(270i)은 저 전압 차동 신호(LVDS) 데이터 송신(data transmission)을 제공한다. 대안적으로, 데이터 포트들(270i)은 데이터 송신을 위하여 직/병렬 변환기(serializer-deserializer)(SerDes) 인터페이스를 사용할 수 있다. "LVDS Owner's Manual Including High-Speed CML and Signal Conditioning"(Fourth Edition, 2008년 1월 National Semiconductor에 의해 발행)는 LVDS 디바이스들 및 구조들을 기술한다. LVDS 데이터 송신은 3.125Gbps의 최대 데이터 전송 속도, 저 잡음 및 저 전력 소모를 포함하는 바람직한 특성들을 가진다. 차동 신호화(differential signaling)는 채널 출력 당 LVDS 쌍으로 칭해지는 2개의 I/O 핀들을 필요로 하는바, 하나는 양의 차동 출력을 위한 것이고 다른 하나는 음의 차동 출력을 위한 것이다. 데이터 포트(270i)는 압축기 출력(C_i)에서 압축 샘플들의 비트율이 포트의 최대

데이터 전송율보다 낮을 때 초과 대역폭(excess bandwith)을 가진다. 주어진 데이터 포트(270i)를 통한 전송을 위하여 복수의 압축 빔들을 결합(combine)함으로써 초과 대역폭이 사용될 수 있다. 멀티플렉서(250)는 압축 빔 형성 샘플들의 J개의 시퀀스들을 결합하여, M개의 데이터 포트들(270i)을 통해 전송하기 위한 M개의 멀티플렉스 시퀀스들 D_j 을 형성하며, 여기서 $M < J$ 이다. 결합될 수 있는 압축 빔들의 수는 데이터 전송 포트(270i)의 대역폭에 의해 제한된다. 직렬변환기(serializer)(260)는 대응하는 데이터 포트들(270i)에 멀티플렉싱된 비트 시퀀스들을 제공한다.

[0034] M개의 데이터 포트들을 사용하도록 압축 빔형성 샘플들(compressed beamformed samples)을 멀티플렉싱하는 것의 이점은 더 적은 물리적 데이터 포트들을 사용하는 것을 포함하며, 이는 또한 데이터 포트들의 연결 및 전력 소모를 줄여준다. 압축 빔형성 샘플들의 비트율이 고정인 애플리케이션들에서, 멀티플렉서(250)는 고정 개수의 물리적 데이터 포트들(270i)에 대한 고정 개수의 멀티플렉서 출력들(251i)을 가진다. 대안적으로, 유연적인 구조(flexible architecture)는 압축 빔형성 샘플들의 비트율에 따라 고정 개수의 물리적 데이터 포트들(270i) 중에서 다양한 수의 활성(active) 데이터 포트들을 지원할 수 있다. 유연적인 구조에서, 압축기(210)는 사용자가 선택가능한 압축 비율 파라미터에 따라 다양한 비트율들에서 압축 빔형성 샘플들을 제공한다. 압축 제어기(도 5에 도시되지 않음)는 압축 유닛들(210i)에 압축 제어 파라미터들을 제공하여, 동작들이 요구되는 압축 비율에 대응하는 비트율을 가진 압축 빔형성 샘플들을 생성하도록 한다. 압축 제어기는 생성할 멀티플렉싱된 시퀀스들의 수 M을 나타내기 위하여 멀티플렉서(250)에, 멀티플렉싱 제어 파라미터들을 제공한다. 압축 제어기는 또한 비활성 데이터 포트들을 파워-다운하기 위한 사용자 입력에 응답할 수 있으며, 따라서 전력을 더 절약할 수 있다.

[0035] 일 데이터 포트에 대해 결합될 수 있는 압축 빔들의 수는 데이터 포트(270i)의 대역폭에 의해 제한된다. 예를 들어, 각각의 빔이 빔형성 샘플당 16 비트들을 가지며 초당 50 메가샘플의 샘플 속도(Msps)를 가지는 $J=8$ 빔들 B_i 에 대해, 각각의 빔형성기 출력 채널(161i)에서의 비트율은 800Mbps이다. 데이터 포트(270i)가 800Mbps에 이르는 데이터 전송율을 가지고 압축기(210)이 2:1의 압축 비율을 생성한다고 가정하기로 한다. 압축기 출력(211i)에서의 압축 축 빔 C_i 은 400Mbps의 비트율을 가진다. 이 경우에, 일 데이터 포트(270i)는 800Mbps의 데이터 전송율에서 2개의 압축 빔들 C_i 을 전송하기에 충분한 대역폭을 가진다. 멀티플렉서(250)는 2개의 압축 빔들의 세트(C_i, C_{i+1})로부터 압축 빔형성 샘플들을 결합하여, 멀티플렉서 출력(251i)에서 멀티플렉싱된 압축 샘플들 D_j 의 대응 시퀀스를 형성한다. 이 예에서, 대응하는 활성 데이터 포트에 제정되는 멀티플렉싱된 시퀀스들의 수는 $M=J/2=4$ 이다. 직렬변환기(260)는 대응하는 데이터 포트들(270i)에 비트들의 시퀀스들을 제공한다. 디지털 인터페이스(220)를 통한 전송 후, 디멀티플렉서는, 압축해제기(240)에 제공되는 J개의 압축 빔들을 복원(restore)하기 위하여, M개의 멀티플렉싱된 시퀀스들을 수신하고 그것들을 디멀티플렉싱할 수 있다. 대안적으로, 멀티플렉서(250)는 그룹당 고정 개수의 샘플들을 가지는 압축 빔형성 샘플들의 그룹들을 인터리브할 수 있다. 이 대안에서, 도 12 및 도 13과 관련하여 하기에서 설명되는 바와 같이, 압축해제기(240)는 디멀티플렉싱 전에 압축 빔형성 샘플들의 그룹들을 압축해제할 수 있다.

[0036] 압축 유닛들(210i)에 의해 적용되는 압축 방법들은 각각의 빔형성기 출력 채널(161i)의 빔형성 샘플들에 대해, 다른 빔들과는 개별적으로 동작한다. 빔형성 샘플들에 적용되는 압축 방법들은 빔 내의 다른 샘플들의 값들에 의존한다. 압축 방법들은 블록 부동 소수점 엔코딩, 및 빔형성 샘플들에 대한 1차 또는 고차 도함수(first or higher order derivatives)의 계산(블록 부동 소수점 엔코딩이 이에 후속됨)을 포함한다. 허프만 또는 다른 타입의 엔코딩이 블록 부동 소수점 엔코딩에 대한 대안일 수 있다.

[0037] 압축 유닛(210i)의 바람직한 실시예는 빔형성기 출력 채널(161i)로부터의 연속적인 빔형성 샘플들의 그룹들에 블록 부동 소수점 엔코딩을 적용하는 것이며, 각각의 그룹은 N_{GROUP} 샘플들을 가진다. N_{GROUP} 샘플들의 최대 지수가 엔코딩되고 N_{GROUP} 샘플들은 하기의 단계들에 따라 엔코딩된다.

[0038] N_{GROUP} 샘플들의 제1 그룹에 대해 :

[0039] 1) N_{GROUP} 샘플들의 각각의 그룹에서 최대 크기의 \log_2 를 계산하는 것 등에 의해 최대 크기(magnitude)를 지닌 샘플에 대한 지수(밑(base)이 2)를 결정한다. 이는 엔코딩된 샘플당 비트들의 수, 즉 $n_{\text{exp}}(0)$ 를 나타낸다.

[0040] 2) S개의 비트들을 사용하여 제1 그룹의 지수 $n_{\text{exp}}(0)$ 를 절대 엔코딩(absolute encoding)한다. 여기서, S는 샘플당 비트들의 원래 수이다.

[0041] 3) 샘플당 $n_{\text{exp}}(0)$ 비트들을 사용하여 N_{GROUP} 샘플들을 엔코딩한다.

- [0042] N_GROUP 샘플들의 i번째 그룹에 대해($i > 0$):
- [0043] 4) 최대 크기를 가진 샘플들에 대해 i번째 지수(밀이 2)를 결정한다. 이는 i번째 그룹에서 엔코딩된 샘플당 비트들의 수, 즉 $n_exp(i)$ 를 나타낸다.
- [0044] 5) i 번째 차분값(difference value)을 결정하기 위하여 $n_exp(i-1)$ 에서 $n_exp(i)$ 를 감산함으로써 i번째 지수를 차동적으로 엔코딩한다. 대응하는 토큰(token)을 사용하여 i번째 차분 값을 엔코딩한다. 여기서 더 짧은 토큰들이 더 공통적인(more common) 차분 값들을 나타내며 더 긴 토큰들은 덜 공통적인(less common) 차분 값들을 나타낸다.
- [0045] 6) 샘플당 $n_exp(i)$ 비트들을 사용하여 N_GROUP 샘플들의 i번째 그룹을 엔코딩한다.
- [0046] 샘플들의 제1 그룹에 대해, 지수 $n_exp(0)$ 이 직접 엔코딩된다. 예를 들어, 지수 $n_exp(0)$ 은 하기와 같이 엔코딩될 수 있으며, 여기서 S는 본래의 샘플당 비트수이다.
- [0047] a. 0: $n_exp(0) = 0$ (4개의 샘플 값들이 모두 0이다)
- [0048] b. 1: $n_exp(0) = 2$ (샘플당 2비트)
- [0049] c. 2: $n_exp(0) = 3$ (샘플당 3비트)
- [0050] d. 기타. S-1까지. $n_exp(0) = S$ (샘플당 S비트)
- [0051] i 번째 그룹에 대해, 지수 $n_exp(i)$ 는 앞자리 부호(prefix code)를 사용하여 차동적으로 엔코딩되며, 여기서 어떤 부호워드(codeword)도 또 다른 부호워드의 앞자리(prefix)가 아니다. 선회되는 차동 엔코딩은 다음과 같다.
- [0052] 1. 차분을 계산한다. $e_diff = n_exp(i) - n_exp(i-1)$
- [0053] 2. e_diff 를 하기와 같이 엔코딩한다.
- [0054] a. 0: $e_diff = e(i) - e(i-1)$
- [0055] b. 101: $e_diff = +1$
- [0056] c. 110: $e_diff = -1$
- [0057] d. 1001: $e_diff = +2$
- [0058] e. 1110: $e_diff = -2$
- [0059] f. 기타
- [0060] 대안적으로, 지수 $n_exp(i)$ 가 차동적으로 엔코딩되는 대신 허프만 엔코딩될 수 있다.
- [0061] 도 7은 N_GROUP = 4 인 블록 소수점 엔코더의 블록도이다. 지수 계산기(402)는 단계 1 및 단계 4에서와 같이 N_GROUP 샘플들에 대해, 비트들에서의 최대 지수, n_exp 를 계산한다. 지수 토큰 발생기(404)는 단계 2 및 단계 5에서 n_exp 값들을 엔코딩한다. 가수 패커(mantissa packer)(406)는 단계 3 및 단계 6에서 N_GROUP 샘플들에 대한 가수들을 엔코딩한다. 도 8은 엔코딩을 위해 신호 샘플의 n_비트들을 선택하는 예를 도시한다. 입력 신호 샘플(420)은 K개의 비트들에 의해 표현된다. 샘플(420)의 n_exp 하위 비트들이 엔코딩을 위해 선택된다. 샘플들을 위한 사인 비트가 선택된 비트들에 첨부되고 비트들의 결과적인 시퀀스는 가수를 나타낸다. 도 7로 돌아가면, 멀티플렉서(408)가, 엔코딩된 지수 토큰(411) 및 이에 후속하는 N_GROUP 가수들을 패키징하여 N_GROUP 압축 샘플들을 나타내는 압축 그룹(410)을 형성한다. 이 예에서, 압축 그룹(410)은 지수 토큰(411) 및 이에 후속하는 4개의 패키징된 가수들(412-0, 412-1, 412-2, 및 412-3)의 시퀀스를 포함한다. 압축 유닛(210i)은 연속적인 압축 그룹들을 연결(concatenation)하여 압축기 출력(211i)에서 압축된 패킷의 데이터 부분을 형성한다. N_GROUP을 위한 선회되는 사이즈는 그룹당 3 또는 4개의 샘플들이다. 그러나, 다양한 그룹 사이즈들이 또한 사용될 수 있다.
- [0062] 가수들과 지수들을 별도로 엔코딩하는 것은 추가적인 압축을 제공하며 압축 에러를 감소시켜 준다. 연속적인 지수들의 차분 값들이 계산되고 엔코딩된다. 지수들은 느리게 변하며, 따라서 0 값들의 스트링들에 의해 분리되는 상대적으로 적은 0아닌 값들이 존재한다. 지수 차분 값들은 0이 아닌 차분 값들 및 그것들의 대응 자리들(positions)만을 나타냄으로써 효율적으로 엔코딩될 수 있다. 자리는 대응하는 인덱스 값에 의해 표현되거나 마지막의 0아닌 차분 값(last nonzero difference value)의 자리와 관련하여 표현될 수 있다. 지수 차분 값들의

엔코딩은 무손실 엔코딩이며, 이는 상대적으로 큰 에러들을 방지해준다. 지수들을 디코딩하기 위하여, 지수 값들이 지수 차분 값들을 적분(integration)하고 대응하는 자리 위치들을 디코딩함으로써 복원된다. 가수들을 디코딩하기 위하여, 각각의 복원된 가수 값이 제한되어 디코딩된 샘플의 대응 지수 값을 변경하지 않는다. n_{exp} 의 디코딩된 지수에 대해, 복원된 가수는 $2^{n_{exp}-1}$ 의 최대값을 가질 수 있다. 이는 지수 값의 변경으로부터의 가수의 압축 에러를 방지해준다.

[0063] 대안적인 블록 부동 소수점 엔코딩 방법은, 위에서 설명된 바와 같이 가수를 나타내는 비트들의 수를 감소시키고 지수들을 차동 엔코딩하는 것을 포함한다. N_{GROUP} 샘플들의 가수들을 나타내는 비트들의 수는, 그룹에 대한 n_{exp} 의 값에 따라 각각의 가수로부터 다수의 LSB들을 선택적으로 제거함으로써 감소된다. 도 9는 감소된 가수를 나타내기 위하여 비트들을 선택하는 예를 도시한다. n_{exp} 는 위의 단계 1 및 단계 4에서와 같이 결정된다. 가수의 n_{exp} 하위 비트들 모두를 엔코딩하는 대신, LSB로 시작하는 n_{LSB} 개의 비트들이 제거된다. 나머지 m_{exp} 비트들($m_{exp} = n_{exp} - n_{LSB}$)이 엔코딩을 위해 선택된다. n_{LSB} 의 값은 식 또는 표(table)에 따라 n_{exp} 의 값에 의존한다. 도 10은 n_{exp} , n_{LSB} , 및 m_{exp} 의 예시적인 값들의 표이다. 더 큰 값의 n_{exp} 에 대해, 자름(truncation) 또는 반올림(rounding)에 의해 더 많은 LSB들이 제거되어 m_{exp} 비트들을 가진 감소된 가수를 형성한다. 예를 들어, 만약 n_{EXP} 가 12라면, N_{GROUP} 감소된 가수들의 패키징을 위하여 3개의 LSB들이 제거되어 9개의 가수 비트들이 유지된다. 압축기(210)는 n_{exp} , n_{LSB} , 및 m_{exp} 의 값들의 룩업 테이블을 저장할 수 있다. 대안적으로, 압축기(210)는 n_{exp} 의 함수로서 n_{LSB} 및 m_{exp} 를 나타낼 수 있으며 필요할 때 그 값들을 계산할 수 있다. 도 11은 감소된 가수들을 사용하는 블록 부동소수점 엔코딩의 블록도이다. N_{GROUP} 샘플들의 각각의 그룹에 대해, 지수 계산기(402)는 위에서 설명된 것과 같이 최대 지수 n_{exp} 를 계산한다. 가수 비트 계산기(414)는 룩업 테이블 또는 식을 사용하여 감소된 가수에서의 비트들의 개수 m_{exp} 를 결정한다. 감소된 가수 패커(416)는 N_{GROUP} 샘플들 각각에 대해 m_{exp} 비트들을 선택한다. 멀티플렉서(408)는 지수 토큰(411)과 이에 후속하는 감소된 가수들(419-0, 419-1, 419-2, 419-3)을 패키징하여 압축된 그룹(418)을 형성한다. 일부 조건들에서, 어떤 LSB도 N_{GROUP} 샘플들의 그룹으로부터 제거되지 않는다. 예를 들어, N_{GROUP} 샘플들 내의 하나 이상의 샘플들의 크기가 허용가능한 최소값보다 작다면, 본래의 LSB들을 포함하는 N_{GROUP} 가수들이 패키징될 것이다. 압축 빔들은 감소된 가수들을 가진 또는 감소된 가수들을 가지지 않은 압축된 그룹들을 포함할 수 있다.

[0064] 압축 제어기는 블록 부동 소수점 엔코딩을 위하여 압축 유닛들(210i)에 압축 제어 파라미터들을 제공한다. n_{LSB} , m_{exp} , 및 n_{exp} 에 대한 복수의 대안적인 룩업 테이블들 또는 식들이 존재할 수 있다. 압축 제어 파라미터들은 N_{GROUP} 및 n_{LSB} , m_{exp} , 및 n_{exp} 에 대한 대안적인 룩업 테이블들 또는 식들을 위한 선택 파라미터들을 포함한다. 압축 제어 파라미터들은 모든 압축 유닛들(210i)에 대해 균일할 수 있다. 대안적으로, 압축 제어 파라미터들은 서로 다른 압축 유닛들(210i)에 대해 서로 다른 값들을 가질 수 있다. 압축 제어기는 압축 제어 파라미터들을 선택하기 위한 사용자 입력에 응답할 수 있다.

[0065] 압축 빔형성 샘플들은 디지털 인터페이스(220)를 통한 전송을 위하여 압축 패킷들의 데이터 부분들로 삽입될 수 있다. 샘플링 윈도우에 대응하는 압축 빔의 압축 빔형성 샘플들이 하나 이상의 압축 패킷들에 배열될 수 있다. 대안적으로, 도 6과 관련하여 설명된 바와 같이, 복수의 압축 빔들에 대응하는 압축 빔형성 샘플들의 시퀀스들이 결합되어 주어진 데이터 포트(270i)를 통한 전송을 위한 압축 패킷들을 형성할 수 있다. 압축 패킷의 헤더 부분은 패킷을 위한 식별 정보를 포함한다. 헤더는 또한 패킷 내의 압축 빔형성 샘플들을 위한 압축 제어 파라미터들을 나타내는 제어 데이터를 포함할 수 있다. 압축해제 동작들을 구성하기 위하여 압축 제어 파라미터들에 대한 정보가 압축해제기(240)에 의해 사용될 수 있다.

[0066] 도 6의 멀티플렉서(250)의 바람직한 실시예는 N_{GROUP} 압축 빔형성 샘플들의 그룹들을 멀티플렉싱한다. 멀티플렉서(250)는 J개의 압축 빔들의 압축 그룹들을 인터리빙함으로써 M개의 멀티플렉싱된 시퀀스들을 생성한다. J개의 압축 빔들은 M세트의 압축 빔들로 분할된다. 각각의 세트에 대해, 멀티플렉서(250)는 세트 내의 그 압축 빔들의 압축 그룹들을 인터리브하여 대응하는 멀티플렉싱된 시퀀스 D_m 를 형성한다. 멀티플렉싱된 시퀀스 D_m 는 멀티플렉서(250)에 의해 그룹 순서(group order)로 배열된 대응 세트로부터의 압축 그룹들의 시퀀스이다. 멀티플렉서(250)는, 각각의 멀티플렉서가 대응하는 세트의 압축 빔들을 수신하는 M개의 병렬 멀티플렉서들로서 구현될 수 있다.

[0067] 도 12는 압축 빔들의 세트(C_1 및 C_2)의 압축 그룹들을 멀티플렉싱하는 예를 도시한다. 그룹 멀티플렉서(252)는 압축 빔 C_1 으로부터의 압축 그룹 G_{1j} 및 압축 빔 C_2 로부터의 압축 그룹들 G_{2j} 를 인터리브하여 멀티플렉싱된 시퀀스 D_1 을 형성한다. 이 예에서, 멀티플렉싱된 시퀀스 D_1 의 그룹 순서는 압축 빔들 사이에서 교번(alternation)되

어 시퀀스 G_{1j} , G_{2j} , $G_{1(j+1)}$, $G_{2(j+1)}$ 등을 형성한다. 압축 그룹 G_{ij} 는 도 7의 블록 부동 소수점 압축 그룹(410), 도 11의 압축 그룹(418), 또는 허프만 엔코딩과 같은 또 다른 엔코딩 방법에서 기인한 압축 그룹에 대응하는 패킹된 비트들을 나타낼 수 있다. 압축 그룹들은 그룹당 동일 수의 압축 빔형성 샘플들(즉, N_{GROUP} 샘플들)을 가진다. 그러나, 압축 샘플당 비트 수가 가변될 수 있으므로 압축 그룹당 비트 수는 가변될 수 있다. 위에서 설명된 블록 부동 소수점 엔코딩 방법들에 대해, 압축 그룹당 비트들의 수는 n_{exp} 의 값에 의존한다.

[0068] 압축해제를 위하여, 압축해제기(240)는 각각의 압축 빔에 대응하는 압축 그룹들의 압축 빔형성 샘플들을 디코딩하고 언패킹한다. N_{GROUP} 압축 빔형성 샘플들의 각각의 그룹에 대해, 압축해제기(240)는 n_{exp} 의 값을 결정하기 위하여 지수 토큰을 디코딩한다. n_{exp} 의 값을 형성하기 위하여, 자동적으로 엔코딩된 지수들이 적분된다. 압축해제 그룹을 형성하기 위하여 압축 그룹 410 또는 418로부터 각각의 가수에 대한 비트들을 언패킹하고 상기 비트들을 각각의 압축해제 빔형성 샘플들에 매핑함으로써 N_{GROUP} 가수들이 복원된다. 압축해제 빔형성 샘플들은 다운스트림 프로세싱 요건들에 따라 빔 형성 샘플당 본래의 비트 수 또는 빔형성 샘플당 다른 비트 수에 의해 표현될 수 있다. 감소된 가수들을 사용하는 블록 부동소수점 엔코더에 대해, 압축해제기(240)는 또한 디코딩된 n_{exp} 값들에 근거하여 n_{LSB} 값들을 결정하기 위한 룩업 테이블 또는 식을 포함한다. 본래의 빔형성 샘플 값(original sample value)을 근사(approximation)하기 위하여, 감소된 가수에 대한 언패킹된 비트들(unpacked bits)에 n_{LSB} 비트들이 첨부되며, 상기 n_{LSB} 비트들은 0들이거나 디더링된 값들(dithered values)일 수 있다. 특정 압축 빔으로부터 계산된 압축해제 그룹들의 시퀀스는 대응하는 압축해제 빔을 형성한다.

[0069] 압축 그룹들의 멀티플렉싱된 시퀀스의 압축해제를 위하여, 디멀티플렉싱 전에 압축해제기(240)가 멀티플렉싱된 시퀀스에 적용될 수 있다. 도 13을 참조하면, 멀티플렉싱된 시퀀스 D_1 의 각각의 압축 그룹 G_{ij} 는 그룹의 N_{GROUP} 압축 빔형성 샘플들을 압축해제하기 위해 필요한 정보를 제공하는 지수 토큰을 포함한다. 자동적으로 엔코딩된 지수 토큰에 대해, 압축해제기는 멀티플렉싱된 시퀀스 D_1 의 그룹 순서를 사용하여, 적분을 위하여 동일한 압축 빔에 대응하는 지수 토큰들을 선택하여 n_{exp} 의 대응 값들을 결정한다. 그룹 순서는 멀티플렉싱 및 디멀티플렉싱을 위한 고정 파라미터일 수 있으며, 이 경우 상기 그룹 순서는 압축해제기(240) 및 그룹 디멀티플렉서(254)에게 공지되어 있다. 대안적으로, 그룹 순서는 조정가능한 파라미터일 수 있고, 이 경우 상기 그룹 순서는 다른 압축 파라미터들과 함께 압축 패킷의 헤더 부분에 포함될 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이, 압축 그룹들은 서로 다른 비트 수를 가질 수 있다. 그러나, 일단 그룹들이 압축해제되면, 각각의 그룹에 대한 N_{GROUP} 압축해제 빔형성 샘플들이 동일한 샘플당 비트 수를 가질 것이다. 압축해제 그룹들의 그룹 순서는 압축 그룹들의 그룹 순서와 같다. 그룹 디멀티플렉서(254)는 압축해제 그룹들을 그것들의 본래 순서로 재배열(reorder)하여 압축해제 빔들의 세트를 형성하며, 각각의 압축해제 빔은 본래의 연속적 순서의 압축해제 빔형성 샘플들을 가진다.

[0070] 도 13은 도 12의 멀티플렉싱 예에 대응하는 디멀티플렉싱의 예를 도시한다. 압축해제기(240)는 압축해제 그룹들(241)의 시퀀스를 형성하기 위하여 멀티플렉싱된 시퀀스(D_1)에 블록 부동 소수점 디코딩을 적용한다. 각각의 그룹 R_{ij} 내의 압축해제 빔형성 샘플들은 동일한 샘플당 비트 수를 가진다. 그룹 디멀티플렉서(254)는 압축해제 빔형성 샘플들의 그룹들 대해 본래의 순서를 복원하여 압축해제 빔들의 세트(253, 255)를 형성한다. 그룹 디멀티플렉서(254)는 그룹 순서(즉, R_{ij} , R_{2j} , $R_{1(j+1)}$, $R_{2(j+2)}$ 등을 사용하여 압축해제 빔형성 샘플들의 그룹을 그것들 각각의 압축해제 빔들 253 및 255로 분리한다. 그룹당 샘플들의 수가 N_{GROUP} 이므로, 그룹 디멀티플렉서(254)는 각각의 그룹 R_{ij} 의 N_{GROUP} 압축해제 빔형성 샘플들을 대응하는 압축해제 빔에 첨부한다.

[0071] 빔형성 샘플들의 압축 및 압축해제를 위한 대안적인 방법들은 더 낮은 진폭들(lower amplitudes)을 가지는 수정된 샘플들을 생성하기에 앞서 각각의 빔 내의 빔형성 샘플들에 대한 계산을 수행하는 것을 포함하며, 따라서, 상기 샘플들을 나타내기 위하여 더 적은 비트들이 필요하게 된다. '533 특허는 특정한 대역제한 신호들의 압축 및 압축해제를 위한 알고리즘을 기술한다. 하기에서 설명되는 대안적인 압축 방법들의 일부는 초음파 신호 샘플들에 대한 '533 특허의 알고리즘들의 수정이다.

[0072] 빔형성 샘플들의 압축을 위한 대안적인 방법은 각각의 빔 내의 빔형성 샘플들 사이의 차분들을, 다른 빔들과는 개별적으로 계산하는 것을 포함하며, 엔코딩이 이에 후속한다. 빔형성 샘플들의 1차 또는 고차(first or higher order) 차분들을 계산하는 것은 결과적으로 본래의 빔형성 샘플들보다 작은 크기를 가지는 차분 샘플들(difference samples)이 되게 할 수 있다. 차분 샘플들을 엔코딩하는 것은 결과적으로 빔형성 샘플들 그 자체를 엔코딩하는 것보다 더 많이 압축되게 할 수 있다.

[0073] 도 14는 차분 연산들(differencing operations)을 포함하는 압축 유닛(210i)의 블록도이다. 압축 유닛(210i)은

빔형성기 출력 채널(161i)로부터 qlagudtjd 샘플들을 수신한다. 압축 제어기(340)가 각각의 압축 유닛(210i)의 차분 연산기(330i) 및 엔코더(332i)를 위한 압축 제어 파라미터들을 제공한다. 차분 연산기(330i)에 대한 압축 제어 파라미터들은 1차, 2차, 또는 고차 차분들을 선택할 수 있다. 차분 연산기(330i)는 차분 샘플들을 생산하기 위하여 선택된 차분 차수(diffrencing order)를 적용한다. 압축 제어 파라미터는 또한 차분 연산들을 우회(bypassing)하는 것을 선택하여, 엔코더(332i)가 차분 샘플들 대신 빔형성 샘플들을 엔코딩하도록 할 수 있다. 엔코더(332i)는 위에서 설명된 바와 같이, 차분 샘플들의 블록 부동 소수점 엔코딩을 적용할 수 있다. 이 경우에, 차분 샘플들은 도 7 내지 도 11의 블록 부동 소수점 엔코더의 입력(401)에 제공된다. 대안적으로, 엔코더(332i)는 허프만 엔코딩 또는 다른 엔코딩을 차분 샘플들에 적용할 수 있다. 엔코더(332i)를 위한 압축 제어 파라미터는 위에서 설명된 바와 같이 블록 부동 소수점 엔코더를 위한 파라미터들, 또는 허프만 엔코더 또는 또 다른 엔코더를 위한 파라미터들을 나타낼 수 있다. 압축 제어 파라미터들은 서로 다른 압축 유닛들(210i)에 대해 동일하거나 다를 수 있다.

[0074] 도 6 및 도 12와 관련하여 위에서 기술한 바와 같이, 서로 다른 압축 빔들에 대응하는 압축기 출력들(211i)이 디지털 인터페이스(220)를 통한 전송에 앞서서 더 적은 출력 채널들로 멀티플렉싱될 수 있다. 엔코더(332i)는 서로 다른 샘플들에 블록 부동 소수점 엔코딩을 적용하여 도 12의 압축 그룹들 G_{ij} 을 생성할 수 있으며, 여기서 상기 압축 그룹들은 압축 빔들 C_1 및 C_2 를 포함하는 N_GROUP 엔코딩된 차분 샘플들의 그룹들을 나타낸다. 대안적으로, 엔코더(332i)는, 압축 그룹 당 N_GROUP의 압축 빔형성 샘플들을 가지는 허프만 엔코딩된 차분 샘플들의 그룹들을 나타내도록 차분 샘플들에 허프만 엔코딩을 적용할 수 있다. 그룹 멀티플렉서(252)는 압축 빔들 C_1 및 C_2 의 압축 그룹들을 결합하여 멀티플렉싱된 시퀀스 D_1 을 형성한다.

[0075] 도 15는 도 14와 관련하여 기술된 압축 동작들에 대응하는 압축해제 동작들의 블록도이다. 압축해제기(240)는 디지털 인터페이스(220)로부터 압축 빔들을 수신한다. 디코더(352)는 엔코더(332i)의 동작들을 인버팅하여 디코딩된 샘플들을 형성한다. 예를 들어, 디코더(352)는 블록 부동 소수점 디코딩, 허프만 디코딩 또는 다른 디코딩을 수행한다. 적분 연산기(integration operator)(354)는 압축을 위해 수행된 1차 또는 고차 차분을 인버팅하기 위하여 디코딩된 차분 샘플들을 합산하여 진단 정보 프로세서(180)에 제공되는 압축해제 빔을 형성한다. 압축을 위해 차분이 수행되지 않았다면, 적분 연산기(342)는 우회될 것이다. 압축해제 제어기(350)는 디코더(352) 및 적분 연산기(354)에 제어 파라미터들을 제공한다. 압축해제 제어기(350)는 압축된 데이터 패킷의 헤더로부터 제어 데이터를 추출하여 압축해제 동작들을 위한 제어 파라미터들을 결정한다.

[0076] 도 13과 관련하여 설명된 바와 같이, 도 15의 압축해제기(240)가, 디멀티플렉싱 전에 차분 샘플들의 압축 그룹들의 멀티플렉싱된 시퀀스에 적용될 수 있다. 이 경우, 디코더(352)는 멀티플렉싱된 시퀀스 내의 압축 그룹들 G_{ij} 을 디코딩하여 그룹 순서로 디코딩된 차분 샘플들의 그룹들을 형성한다. 블록 부동소수점 디코딩에 대해, 지수 토큰들이 차동적으로 엔코딩되면, 디코더(352)는 그룹 순서를 사용하여 동일한 빔에 대응하는 지수 토큰들을 적분하여 대응하는 그룹들에 대한 n_{exp} 의 값들을 결정한다. 적분 연산기(354)는 그룹 순서 및 n_{exp} 를 사용하여 동일 빔에 대응하는 디코딩된 차분 샘플들의 그룹들을 결정한다. 적분 연산기(354)는 241의 시퀀스의 압축해제 그룹들 R_{ij} 을 형성하기 위하여 디코딩된 차분 샘플들의 각각의 그룹들을 적분한다. 그룹 디멀티플렉서(254)가 그후 압축해제 그룹들 R_{ij} 을 각각의 압축해제 빔들 253 및 255로 분리한다.

[0077] 도 16에 도시된 바와 같이, 대안적으로, 디코딩된 차분 샘플들의 그룹들이 적분 전에 디멀티플렉싱될 수 있다. 디코더(352)는 도 12의 D_1 으로 표현된 것과 같은 멀티플렉싱된 시퀀스를 수신한다. 디코더(352)는 엔코더(332i)의 동작들을 인버팅하여 압축 그룹들을 언패킹 및 디코딩하여 그룹 순서로 디코딩된 차분 샘플들의 그룹들을 형성한다. 지수 토큰들이 차동적으로 엔코딩되는 블록 부동 소수점 디코딩에서, 디코더(352)는 동일한 빔에 대응하는 지수 토큰들을 적분하기 위하여 그룹 순서를 사용한다. 디코딩된 차분 샘플들의 그룹들은 동일한 샘플당 비트 수를 가지며 압축 그룹들의 멀티플렉싱된 시퀀스에 대응하는 그룹 순서로 되어 있다. 그룹 디멀티플렉서(254)는 상기 디코딩된 차분 샘플들의 그룹들을 분리하여 각각의 빔에 대응하는 디코딩된 차분 샘플들의 어레이를 형성한다. 각각의 어레이 내의 디코딩된 차분 샘플들의 순서는 차분 연산기(330i)로부터 출력되는 차분 샘플들의 순서에 대응한다. 적분 연산기들(354i, 354j)은 디코딩된 차분 샘플들의 각각의 어레이들의 1차 또는 고차 적분(first or higher order integration)을 수행하여 i번째 및 j번째 압축해제 빔들을 형성한다.

[0078] 압축을 위한 또 다른 대안은 더 낮은 진폭을 갖는 샘플들을 생성하기 위하여 중심 주파수 및 샘플 속도에 근거하여 빔형성 샘플들에 대해 산술 연산들을 적용한다. 도 17는 서로 다른 중심 주파수들을 지닌 신호 샘플들을 압축하기 위한 대안들 기저에 놓인 원리들을 도시한다. 도 17에서 "대역 1"로 표시된 행에 대응하는 기저대역

신호의 예로 시작하면, 중심 주파수는 DC(0 Hz) 근처이고 연속적인 샘플들 사이의 위상 증가(phase increase)는 10도 미만이다. 제1 페이저 도(phasor diagram)(710)는 연속적인 샘플들 사이에서의 위상 변화가 작으므로 연속적인 샘플들의 차분들의 크기들이 샘플들 그 자체의 크기들에 비해 상대적으로 작을 것이라는 것을 보여준다. 제1 예의 시퀀스(712)는 대역 1 기저대역 신호의 샘플들에 대응한다. 연속적인 샘플들 사이의 차분들이 샘플 크기들에 비해 작으므로, 1차 또는 고차 차분들의 계산, 또는 차동 엔코딩은 본래의 샘플들보다 작은 데이터 폭을 가지는 차분 샘플들을 생성한다. 도 14와 관련하여 설명된 차동 엔코딩을 사용한 압축은 기저대역(대역 1) 예에 대해 효과적이다. 초음파 신호 샘플들 또는 빔형성 샘플들이 기저대역으로 다운컨버전되는 초음파 시스템들에서, 압축 유닛들(210i)는 차동 엔코딩을 적용할 수 있다.

[0079] 도 17는 또한 중심 주파수가 DC 보다 높고, 나이퀴스트 주파수 $f_s/2$ 미만인 샘플 신호들의 예를 제공한다. 대역 2에 대해, 중심 주파수는 $f_s/6$ 근처이고 연속적인 샘플들 사이의 위상 증가는 약 60도이다. 제2 페이저 도(720)는, 샘플들의 쌍들(720-0, 720-3), (720-1, 720-4) 그리고 (720-2, 720-5)에 의해 도시된 것과 같이, 180도, 또는 3개의 샘플 간격들로 분리된 샘플들의 쌍들이 유사한 크기(그러나 반대 극성(opposite polarities))를 가지는 것을 보여준다. 쌍의 샘플들 중 하나를 반전(inverting)시키는 것(또는 (-1)을 곱하는 것)은 쌍의 다른 샘플에 대한 정밀 추정(close estimate)을 제공한다. 제2 예시적인 시퀀스(722)는 또한 3개의 샘플 구간들로 분리된 샘플들이 유사한 크기들 그리고 반대의 부호들(opposite signs)을 가짐을 보여준다. 예를 들어, 샘플 722-0의 값은 32767이고 샘플 722-3의 값은 -32756이다. 대역 2에 대해, 3개의 샘플 간격들로 분리된 샘플들의 쌍들에 대한 동작들은 더 작은 데이터 폭들을 지닌 수정된 샘플들을 생성한다. 쌍 내의 샘플들을 함께 더하는 동작은 보다 효율적으로 엔코딩될 수 있는 더 작은 데이터 폭들을 가진 수정된 샘플들을 생성한다.

[0080] 도 17의 대역 3의 예에서, 중심 주파수는 $f_s/4$ 근처이고 연속적인 샘플들 사이의 위상 증가는 약 90도이다. 제3 페이저 도(730)는 180도, 또는 2개의 샘플 간격들에 의해 분리된 샘플들이 유사한 크기 및 반대의 극성(opposite polarity)을 가짐을 보여준다. 제3 예의 시퀀스(732)는 또한 하나 걸러 하나의 샘플들이(every other sample) 유사한 크기 및 반대의 극성을 가짐을 보여준다. 대역 3에서, 하나 걸러 하나의 샘플들을 함께 합산하는 것은 결과적으로 본래의 샘플들 보다 효율적으로 엔코딩될 수 있는 더 작은 데이터 폭을 지닌 수정된 샘플들이 되게 할 것이다.

[0081] 도 17의 대역 4의 예에서, 중심 주파수는 $f_s/3$ 부근이고 연속적인 샘플들 사이의 위상 증가는 약 120도이다. 제4 페이저 도(740)는 360도, 또는 3개의 샘플 간격들에 의해 분리된 샘플들이 유사한 크기를 가질 것이라는 것을 보여준다. 제4 예의 시퀀스(742)는 두개 걸러 하나의 샘플(every third sample)이 유사한 크기를 가짐을 보여준다. 이 경우, 3 샘플 간격들에 의해 분리된 샘플들 사이의 차를 형성하는 것은 본래 샘플들보다 효율적으로 엔코딩될 수 있는 더 작은 데이터 폭을 지닌 수정된 샘플을 제공할 것이다.

[0082] 도 17의 대역 5의 예에서, 중심 주파수는 $f_s/2$ 이고 위상은 연속적인 샘플들 사이에서 약 180도 증가한다. 제5 페이저 도(750)는 180도, 또는 하나의 샘플 구간으로 분리된 샘플들이 유사한 크기 그러나 반대의 극성들을 가질 것임으로 보여준다. 제5의 예시적인 시퀀스(752)가 유사한 크기 및 반대의 극성을 지닌 연속적인 샘플들을 보여준다. 이 경우에, 2개의 연속적인 샘플들을 더하는 것은, 본래의 샘플들보다 효율적으로 엔코딩될 수 있는 더 작은 데이터 폭을 가진 수정된 샘플을 형성할 것이다.

[0083] 도 17에 대해 설명된 위의 예들은, 중심 주파수에 대한 샘플 속도의 비율에 따라, 1, 2, 또는 3 샘플 간격들로 분리되는 신호 샘플들에 대한 가산(또는 감산이 뒤에오는 인버전(inversion) 또는 감산(또는 가산이 뒤에 오는 인버전)과 같은 동작들을 수행함으로써 크기 감소(magnitude reduction)가 달성될 수 있음을 보여준다. 결과적인 수정 샘플들이 그후 엔코딩되어 압축 샘플들을 형성한다. 본래의 신호 샘플들보다 작은 데이터 폭을 가진 수정된 샘플들을 생성하기 위하여, 샘플 속도에 대한 중심 주파수의 비율에 따라, 유사한 동작들이 4개 이상의 샘플 간격들에 의해 분리된 샘플들에 적용될 수 있다.

[0084] 도 18은 빔형성 샘플들의 중심 주파수에 근거한 압축 알고리즘의 블록도이다. 특정 빔에 대응하는 빔형성기 출력 채널(161i)이 재배열 디믹스(reorder demux)(810)에 입력된다. 재배열 디믹스(810)는 빔형성 샘플들을 선택하여 선택된 샘플들이 압축 제어 파라미터(852)에 따라 적절한 수의 샘플 간격들에 의해 분리되어 디멀티플렉서 출력(812)을 형성하게 한다. 산술 연산기(830)는 수정된 샘플들(832)을 형성하기 위하여 압축 제어 파라미터(856)에 따라 디멀티플렉서 출력 샘플들(812)의 쌍들에 대해 가산 또는 감산 연산들을 수행한다. 산술 연산기(830)는 또한 디멀티플렉서 출력 샘플들(812)에 대한 고차 차분(higher order differences)을 수행하도록 구성될 수 있다. 엔코더(840)는 수정된 샘플들(832)을 엔코딩하여 압축 빔형성 샘플들을 형성한다. 엔코더(840)는

블록 부동 소수점 엔코딩, 허프만 엔코딩, 또는 다른 엔코딩을 적용하여 압축 샘플들을 형성한다. 도 7 내지 도 11과 관련하여 기술된 블록 부동 소수점 엔코딩에서, 수정된 샘플들(832)이 블록 부동 소수점 엔코더의 입력(401)에 제공된다.

[0085] 압축 제어기(860)는 빔형성 샘플들의 중심 주파수에 대한 샘플 속도의 비율에 근거하여 압축기 소자들에 제어 파라미터를 제공한다. 재배열 디믹스(810) 및 산술 연산기(830)는 압축 제어 파라미터들(852, 856) 각각에 응답하여 적절한 동작들을 수행한다. 도 19는 중심 주파수에 근거하여 수정된 샘플들(832)을 생산하는 동작들을 보여준다. 제1 열(871)은 이 예에 대한 가능한 중심 주파수들을 제공한다. 제2 열(872)은 각각의 중심 주파수에 대한 대응하는 주파수 대역 표시자를 제공한다. 표시자들은 압축 제어(852, 856)를 위한 파라미터들로서 사용될 수 있다. 제3 열(873)은 압축 제어 파라미터(852)에 따라 생산될 재배열 디믹스 출력(reorder demux output)(812)에서의 샘플들($x(i)$ 및 $x(i-j)$)에 대한 다른 구분들(different separations)을 제공한다. 제4 열(874)은 압축 제어 파라미터(856)에 따라 가산(addition) 또는 감산(substraction)의 산술 연산들(arithmetic operations)을 선택한 결과를 보여준다. 지연 샘플들(delayed samples)에 대해 인버터가 "온"일 때, $x(i-j)$ 가 감산된다. 제5 열(875)은 수정된 샘플들(modified samples)(832), 즉 $y(i)$ 를 생산하는 산술 연산기(830)의 수학적 결과들을 보여준다. 압축 제어기(860)는 또한 엔코더(840)에 대한 제어를 제공한다. 압축 제어 파라미터(858)는 블록 부동 소수점 엔코딩, 허프만 엔코딩 또는 다른 엔코딩 기법을 위한 파라미터를 표시할 수 있다.

[0086] 도 20는 서로 다른 중심 주파수들에 대하여 도 18 및 19와 관련하여 설명된 것과 같이 계산된 도 17의 예들에 대한 신호 샘플들 $x(i)$ 및 $x(i-j)$ 의 합들 또는 차분들을 제공한다. 신호 샘플들의 예시적인 시퀀스들은 도 17의 시퀀스들과 동일하다. 예시적인 시퀀스들(912, 942)에서의 DIFF 행들 그리고 예시적인 시퀀스들(922, 932, 952)에서의 SUM 행들에서의 샘플들은 대응하는 신호 샘플들, 즉 $x(i)$ 보다 실질적으로 낮은 크기를 가진다. DIFF 샘플들 및 SUM 샘플들은 도 18의 엔코더(840)에 입력되는 수정된 샘플들(932)의 예시들이다.

[0087] 도 18에서 압축기 출력(211i)에서 엔코더(840)에 의해 생성되는 압축 빔이, 도 6 및 도 12와 관련하여 위에서 기술된 바와 같이, 디지털 인터페이스(220)를 통한 전송에 앞서서 더 적은 출력 채널들을 형성하기 위하여 다른 압축 빔들과 멀티플렉싱될 수 있다. 엔코더(840)는, 압축 빔들 C_1 및 C_2 를 형성하기 위하여 도 12의 압축 그룹들 G_{ij} 이 N_GROUP 엔코딩된 수정 샘플들의 그룹들을 나타내도록 수정 샘플들에 블록 부동 소수점 엔코딩을 적용할 수 있다. 대안적으로, 엔코더(840)는, G_{ij} 가 그룹당 N_GROUP 허프만 엔코딩된 수정 샘플들을 가지는 압축 그룹들을 나타내도록 수정 샘플들에 허프만 엔코딩을 적용할 수 있다. 그룹 멀티플렉서(252)는 압축 빔들 C_1 및 C_2 의 압축 그룹들을 결합하여 멀티플렉싱된 시퀀스 D_1 을 형성할 수 있다.

[0088] 도 21은 도 18과 관련하여 기술된 압축 방법을 위하여 압축해제기(240)에 의해 수행되는 동작들의 블록도이다. 디코더(910)는, 디코딩된 수정 샘플들을 형성하기 위하여, 압축 데이터에 대해 디코딩 동작들, 예를 들어 블록 부동 소수점 디코딩을 수행하거나 상기 압축 데이터를 언패킹한다. 역 산술 연산기(920)는 산술 연산기(830)에 대한 역 연산들을 수행하여 디코딩된 수정 샘플들로부터 빔형성 샘플들을 복구(reconstruction)한다. 멀티플렉서(930)는 대응하는 압축해제 빔을 형성하기 위하여 압축해제된 빔형성 샘플들에 대해 본래의 샘플 순서를 복원한다. 압축해제 제어기(940)는 디코더(910), 역 연산기(920) 및 순서 복원 멀티플렉서(restore order multiplexer)(930)에 제어 파라미터들을 제공한다. 압축해제 제어기(940)는 압축해제 동작들을 위한 제어 파라미터들을 결정하기 위하여 압축 데이터 패킷의 헤더로부터 제어 데이터를 추출할 수 있다.

[0089] 그룹들의 디멀티플렉싱에 앞서서 수정 샘플들의 압축 그룹들의 멀티플렉싱된 시퀀스에 도 21의 압축해제기(240)가 적용될 수 있다. 디코더(910)는 엔코더(840)의 동작들을 인버팅하여 압축 그룹을 디코딩하고 디코딩된 수정 샘플들의 그룹들을 을 그룹 순서로 형성한다. 지수 토큰들이 자동적으로 엔코딩되는 블록 부동 소수점 디코딩에서, 디코더(910)는 동일 빔에 대응하는 압축 그룹들을 위한 n_exp 값들을 결정하기 위하여 지수 토큰들을 적분하는데에 그룹 순서를 사용한다. 역 연산기(920) 및 순서 복원 멀티플렉서(930)는 또한 동일 빔에 대응하는 디코딩된 수정 샘플들의 그룹들에 각각의 동작들을 적용하기 위하여 그룹 순서 및 n_exp 를 사용한다. 순서 복원 멀티플렉서(930)는 각각의 그룹 내의 압축해제된 빔형성 샘플들을 본래의 샘플 순서로 재배열하여 압축해제 그룹들을 형성한다. 그러나, 압축해제 그룹들은 여전히 그룹 순서이다. 도 13을 참조하면, 순서 복원 멀티플렉서의 출력은 압축해제 시퀀스(241)의 압축해제 그룹들 R_{ij} 에 대응한다. 그룹 디멀티플렉서(254)는 압축해제 그룹들 R_{ij} 를 대응하는 압축해제 빔들 253 및 255로 분리한다.

[0090] 대안적으로, 도 22에 도시된 것과 같이, 디코딩된 수정 샘플들의 그룹들이 역 연산기(920)에 앞서 디멀티플렉싱될 수 있다. 디코더(910)는 엔코더(840)의 동작들을 인버팅하여 압축 그룹들을 언패킹 및 디코딩하여 디코딩된

차분 샘플들의 대응 그룹들을 그룹 순서로 형성한다. 지수 토큰이 차동적으로 인코딩되는 블록 부동 소수점 디코딩에서, 디코더(910)는 동일 빔에 대응하는 압축 그룹들에 대한 n_{exp} 값들을 결정하기 위해 지수 토큰들을 적분하기 위하여 그룹 순서를 사용한다. 디코딩된 수정 샘플들의 그룹들은 동일한 수정 샘플당 비트수를 가진다. 그룹 디멀티플렉서(254)는 디코딩된 수정 샘플들의 그룹들을 분리하여 각각의 빔에 대응하는 디코딩된 수정 샘플들의 어레이를 형성한다. 역 연산기들(920i, 920j)이 디코딩된 수정 샘플들의 각각의 어레이들에 적용되고 순서 복원 멀티플렉서들(930i, 930j)이 본래의 샘플 순서를 복원하여 i번째 및 j번째 압축해제 빔들을 각각 형성한다.

[0091] 압축기(210)의 실시예들은 빔형성 샘플들에 간단한 연산들을 적용한다. 차분 연산기(330i)(도 14)는 하나 이상의 감산기들을 포함한다. 블록 부동 소수점 인코딩(도 7 및 11)는 비교기, 감산기, 및 룩업 테이블들을 사용한다. 대안적으로, 허프만 인코딩이 코드를 값에 할당하기 위하여 룩업 테이블을 사용한다. 도 18과 관련하여 기술된 압축 동작들은 디멀티플렉싱, 가산, 및 감산을 포함한다. 압축해제기(240)의 실시예들은 압축 샘플을 압축 해제하기 위한 간단한 연산들을 적용한다. 압축해제기(240)는 블록 부동소수점 디코딩을 위한 룩업 테이블 및 가산기들을 포함한다. 적분 연산기(354)(도 15)는 디코딩된 샘플들을 적분하기 위한 하나 이상의 가산기들을 포함한다. 도 21의 압축해제기(240)의 연산들은 가산, 감산 및 멀티플렉싱을 포함한다.

[0092] 초음파 시스템에서 본 발명의 선호되는 실시예는 압축기(210) 및 수신 빔형성기(160)를, ADC 출력 채널들(121i)로부터 초음파 신호 샘플들을 수신하도록 연결된 입력 데이터 채널들을 구비한 단일의 주문형 회로(ASIC) 디바이스에 통합한다. 압축기(210)의 바람직한 실시예는 병렬의 복수의 압축 코어들을 포함하며, 여기서 각각의 압축 코어는 빔형성기 출력 채널들(161i)에 연결되고 대응하는 빔에 대해 일 압축 유닛(210i)의 압축 동작들을 실시한다. 대안적으로, 일 압축 코어가 복수의 빔들을 압축하기 위한 압축 유닛들(210i)들을 구현할 수 있다. 이러한 대안에서, 압축 코어는 서로 다른 빔들에 대응하는 빔형성 샘플들을 그것들이 처리될때까지 저장하기 위한 버퍼들을 포함한다. 빔형성 및 압축 동작들은 또한 FPGA(필드 프로그램가능 게이트 어레이)에 구현될 수 있다. 압축 빔형성 샘플들은 LVDS 포트들(270i)을 통해 디지털 인터페이스(220)로 출력될 수 있다. LVDS 인터페이스들을 위한 IP 코어들은 ASIC 및 FPGA 구현들에서 상용화되어 있다. 대안적인 구조들은 수신 빔형성기(160)와 별개의 디바이스 내에 압축기(210)를 구현하는 것을 포함한다. 압축기(210)는 ASIC, FPGA, 또는 디지털 신호 프로세서(DSP), 마이크로프로세서, 마이크로제어기, (IBM 셀과 같은) 멀티-코어 CPU, 또는 그래픽 처리 유닛(Nvidia GeForce와 같은 GPU)와 같은 프로그램가능한 프로세서에 구현될 수 있다.

[0093] 초음파 시스템 구조에 따라, 압축해제기(240)는 진단 정보 프로세서(180)와 동일한 디바이스 또는 다른 디바이스에 통합될 수 있다. 압축해제 동작들은 ASIC 또는 FPGA 내에 구현될 수 있다. 대안적으로, 압축해제 동작들은 DSP, 마이크로프로세서, 마이크로제어기, CPU, 또는 GPU와 같은 프로그램가능한 프로세서에 의해 실행가능한 소프트웨어 또는 펌웨어 프로그램들에 구현될 수 있다. 압축해제기(240)의 선호되는 실시예는 GPU에 의해 실행가능한 압축해제 동작들을 위한 명령들을 가진 소프트웨어 프로그램이다. GPU는 또한 진단 정보 프로세서(180) 및 스캔 컨버터(140)의 동작들의 적어도 일부를 구현하도록 프로그램될 수 있다. 대안적으로, 압축해제 빔형성 샘플들은 추가적인 신호 프로세싱 동작들을 위하여 CPU와 같은 또 다른 프로그램가능한 프로세서로 전송될 수 있다.

[0094] 도 23는 압축해제기(240)의 GPU에의 구현 및 초음파 영상을 생성하기 위한 다른 동작들의 블록도이다. 현재의 GPU 구조들은 병렬 계산들에 최적화된 복수의 프로세싱 코어들을 포함한다. 예를 들어, Nvidia GeForce GTS 150 GPU는 128개의 프로세싱 코어들을 포함한다. Nvidia의 "CUDA"(Compute Unified Device Architecture)는 GPU의 프로세싱 코어들에 대한 병렬 알고리즘들을 구현하기 위한 C 언어에 대한 확장을 포함하는 응용 프로그래밍 인터페이스(API)이며 "Getting Started with CUDA"(Ruetsch and Oster, Nvidia Corp., 2008)에 기술되어 있다. 하기에서 기술되는 OpenCL 및 Larrabee와 같은 대안적인 GPU 및 프로그래밍 방법론은, 구현 플랫폼을 제공할 수 있다. 도 23에 기술된 구현예에서, GPU 디바이스(1000)가 프로그래밍되어 압축해제기(240), 진단 정보 프로세서(180)(B-모드 프로세싱 및 도플러 프로세싱), 스캔 컨버터(140) 및 영상 프로세서(150)의 동작들을 실행하도록 프로그래밍될 수 있다. GPU 디바이스(1000)는 병렬 프로세싱 유닛들에 의해 액세스가능한 DRAM(동적 랜덤 액세스 메모리)(1002)을 포함할 수 있다. DRAM(1002)은 GPU의 다른 처리 동작들로부터의 결과인 압축 및/또는 압축 해제 빔형성 샘플들을 저장할 수 있다. 시스템 제어기(1010)는 수신된 데이터로부터의 초음파 영상을 생성하기 위하여 태스크들의 조정(coordination)을 제공하며 사용자 커맨드들에 응답한다. CPU(1012)는 압축된 패킷들의 헤더들로부터의 압축 제어 파라미터들을 디코딩하고 압축해제 동작들을 구성하기 위해 상기 파라미터들을 GPU 디바이스(1000)에 제공하는 것과 같은 압축해제를 지원하는 동작들을 구현할 수 있다. DRAM(1016)은 디지털 인터페이스(220)로부터 수신된 압축 샘플들 및 CPU 동작들에 필요한 다른 데이터를 저장할 수 있다. 통신 제어기

(1014)는 디지털 인터페이스(220)로부터 수신된 압축 패킷들을 DRAM(1002) 또는 DRAM(1016)으로 향하게 하거나 시스템 제어기(1010)와 GPU 디바이스(1000) 사이에서 데이터 교환을 관리한다.

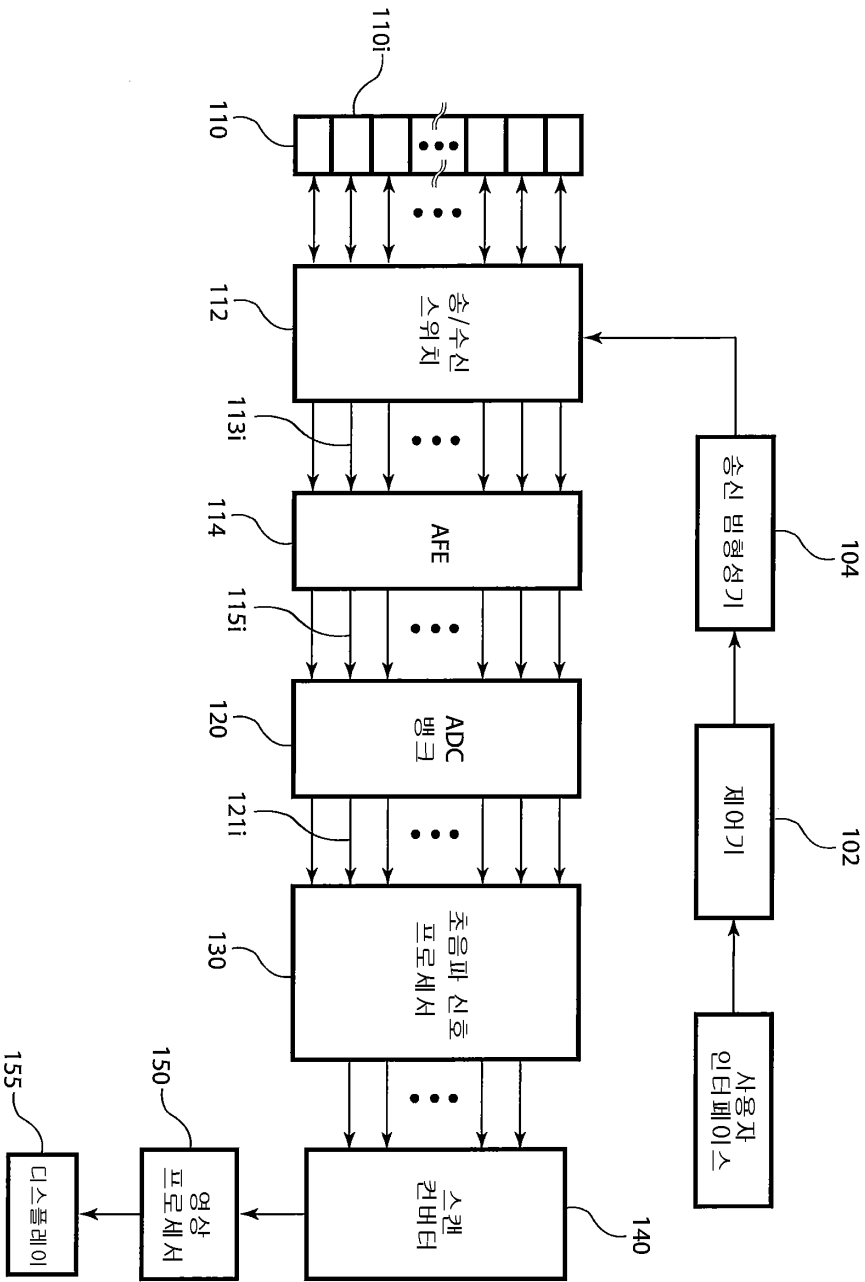
[0095] 선호되는 시스템 구조에서, 시스템 제어기(1010)는 디스플레이(160)를 위한 스크린을 구비한 컴퓨터의 마더보드에 구현될 수 있다. GPU 디바이스(100)는 PCIe(Peripheral Component Interconnect Express) 뒤편 링크(backplane link)에 의해 시스템 제어기(1010)와 통신하는, DRAM(1002)을 포함하는, 그래픽 카드들에 구현될 수 있다. 대안적으로, GPU 디바이스(1000)는 마더보드에 마운팅된 IC에 구현될 수 있다. ADC 뱅크(120), 수신 빔형성기(160), 및 압축기(210)가 데이터 획득 카드에 마운팅되는 시스템 구조에서, 디지털 인터페이스(220)가 PCIe 뒤편 링크에 의해 구현될 수 있다.

[0096] 무어의 법칙에 따라, 디바이스가 소형(compact)일 수록 더욱 고 레벨의 집적이 제공되어, 시스템 제어기(1010) 및 GPU 디바이스(1000)가 단일 IC에 구현될 것이다. 예를 들어, Intel Corporation은 벡터 처리 유닛이 보장된 x86 CPU 코어의 복수의 예시화들(instantiations)을 포함하는 다-코어(many-core) IC 구조를 개발하고 있다. Larrabee로 칭해지는 구조는, "Larrabee: A Many-Core x86 Architecture for Visual Computing"(Seiler et al., AMC Transactions on Graphics, Vol. 27, No.3, Article 18, August 2008) 문헌에 기술된다. Larrabee 구조는 그래픽 프로세싱을 포함하여, 병렬 프로세싱을 필요로 하는 애플리케이션들을 지원한다. "Larrabee Native" 프로그래밍 모델은 C/C++ 및 병렬 프로그래밍 및 벡터화를 위한 API들을 포함한다.

[0097] 도 24는 압축해제기(240)의 CPU/GPU 디바이스에서의 실시예 및 초음파 영상을 생성하기 위한 다른 동작들의 블록도이다. CPU/GPU 디바이스(1020)는 압축해제기(240), 진단 정보 프로세서(130), 스캔 컨버터(140) 및 영상 프로세서(150)의 동작들을 구현할 수 있다. CPU/GPU 제어기(1022)는 디지털 인터페이스(220)로부터 수신된 압축 샘플들에 대한 처리 동작들을 조정(coordination)하고 사용자 입력에 응답한다. CPU/GPU 디바이스(1020)는 Larrabee 플랫폼 또는 집적된 CPU 및 GPU 기능을 지닌 다른 프로그램가능한 디바이스에 의해 구현될 수 있다.

[0098] ADC 뱅크(120), 수신 빔형성기(160), 및 압축기(210)가 변환기 헤드에 하우징된 시스템 구조에서, 디지털 인터페이스(220)는 유선 또는 무선 통신 링크일 수 있다. 유선 통신 링크를 위하여, 디지털 인터페이스가 PCIe 케이블 링크 또는 광섬유 링크에 의해 구현될 수 있다. 무선 통신 링크를 위하여, 디지털 인터페이스는 디지털 변조 및 라디오 주파수 채널을 통한 압축 패킷들의 전송 그리고 수신된 압축 패킷들의 디지털 복조를 제공할 수 있다. 무선 링크는 WiFi(IEEE 802.11) 또는 UWB(초-광대역) 포맷과 같은 무선 통신 프로토콜을 따를 수 있다.

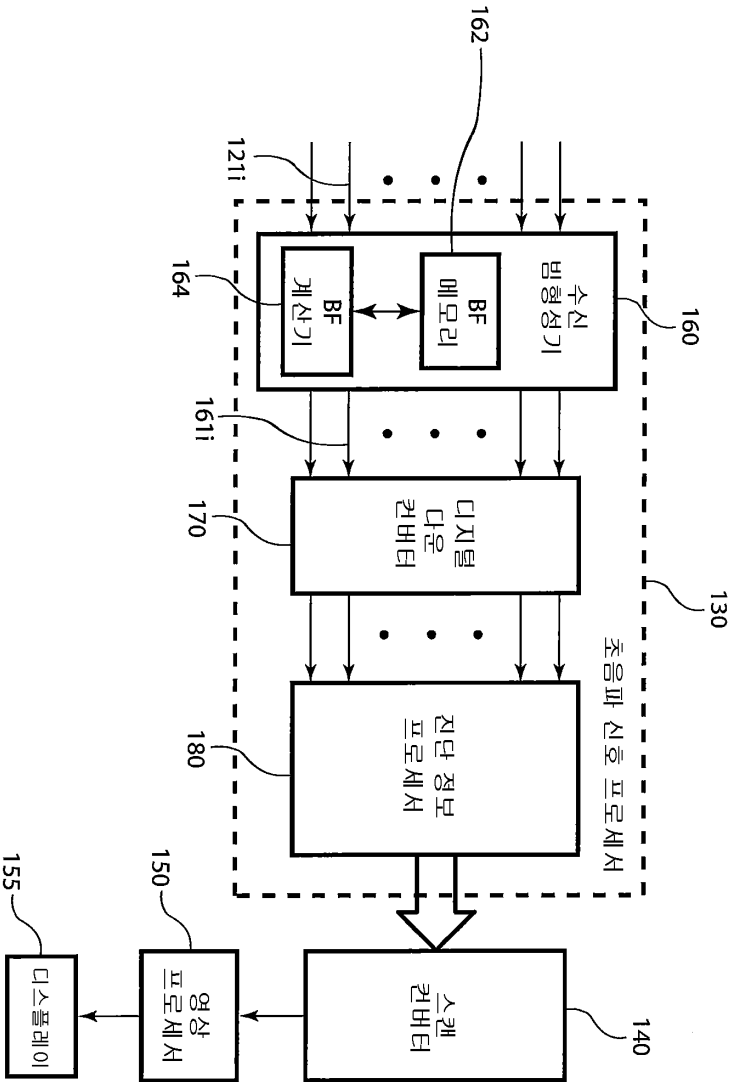
[0099] 본 발명의 선호되는 실시예들이 기술되었으나, 본 발명이 단지 이 실시예들에 국한된 것은 아님이 명백할 것이다. 청구항들에 기술된 바와 같이 본 발명의 범주 및 정신으로부터 벗어남이 없이, 다양한 수정, 변경, 변형, 대체 및 등가가 본 기술 분야의 기술자들에게 자명할 것이다.



도면
도면1

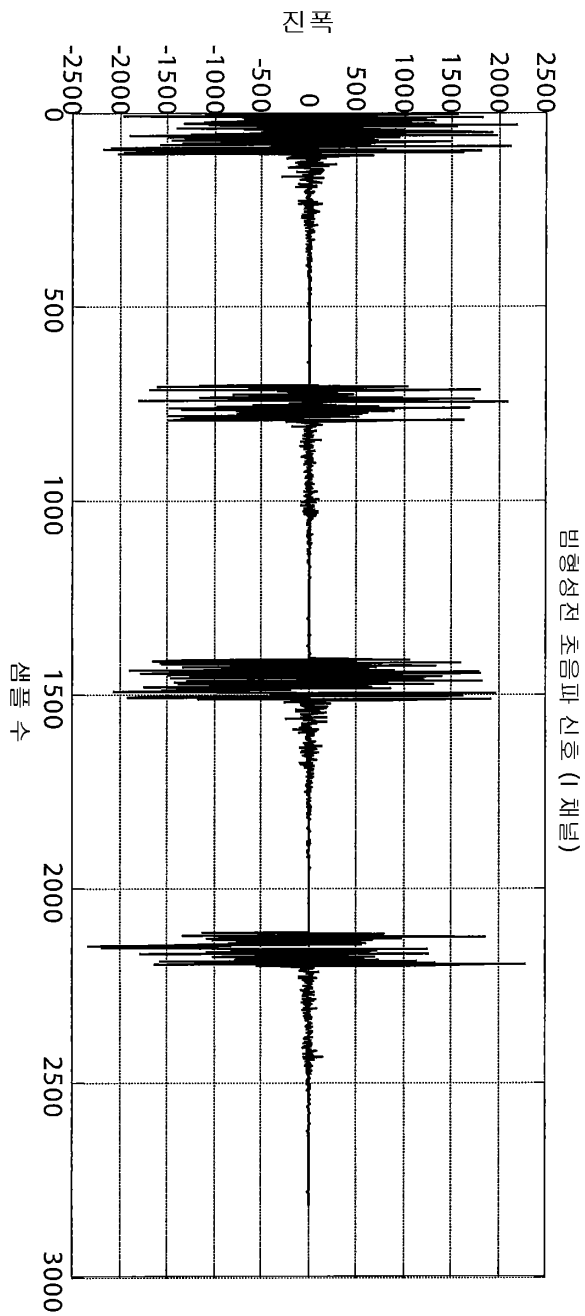
종래 기술

도면2



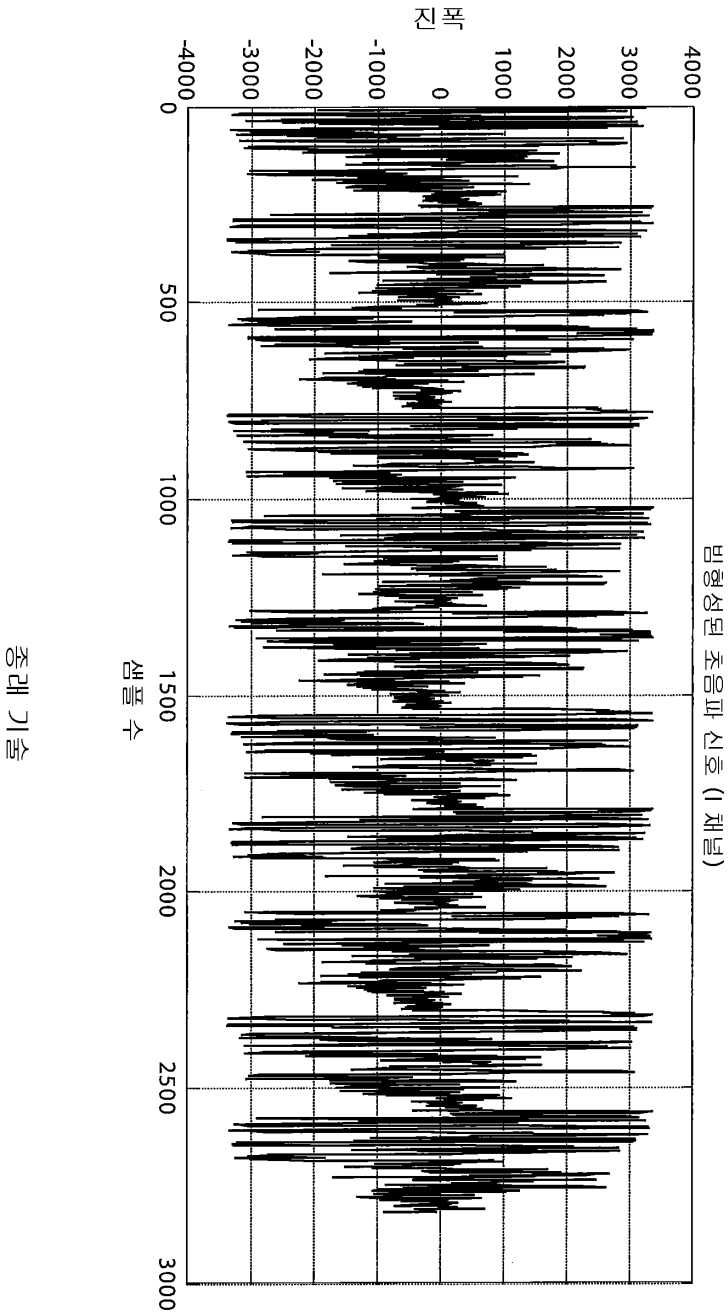
종래 기술

도면3



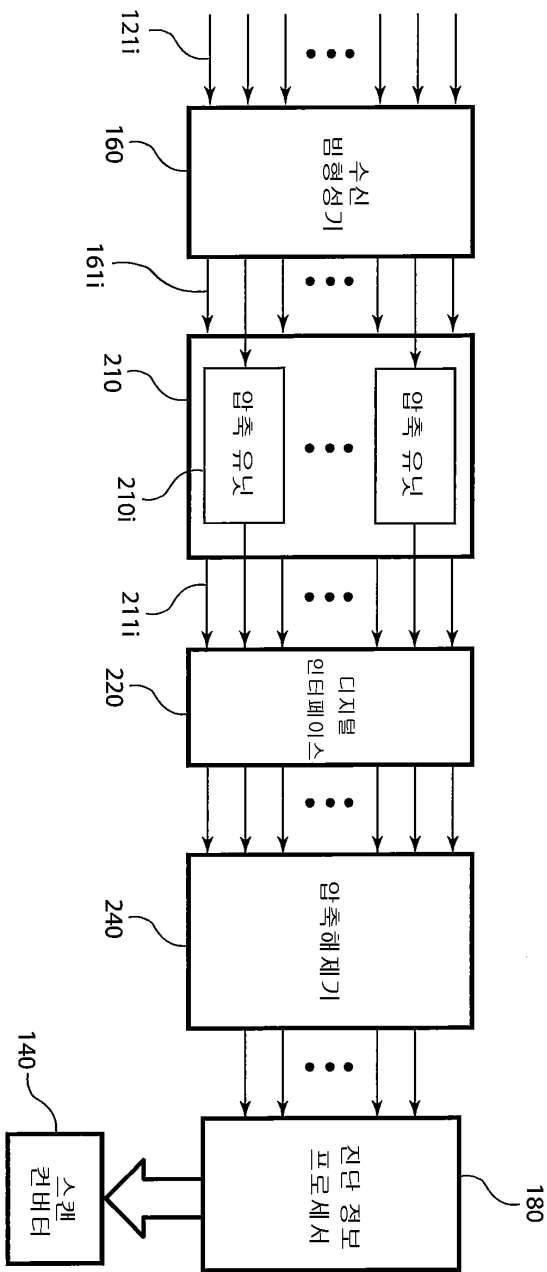
종래 기술

도면4

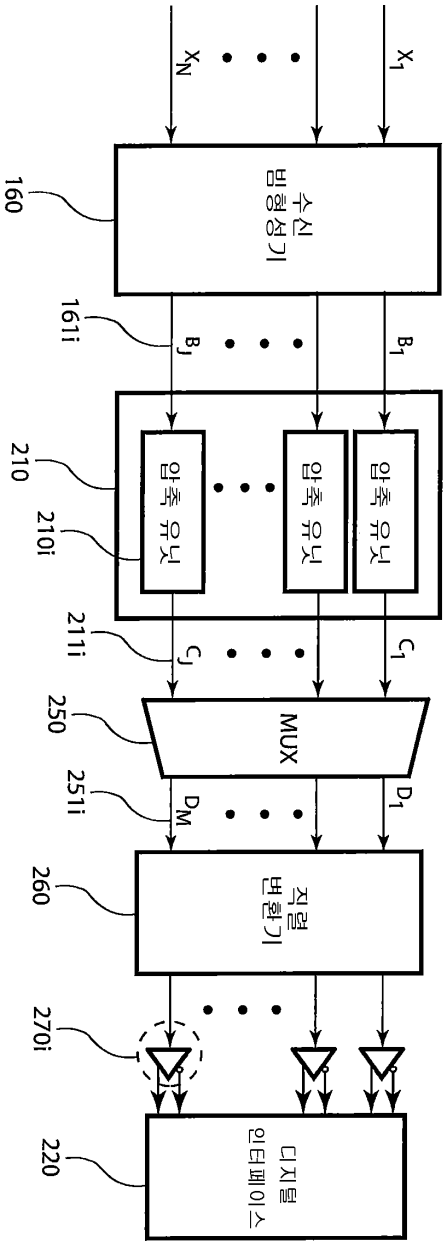


종래 기술

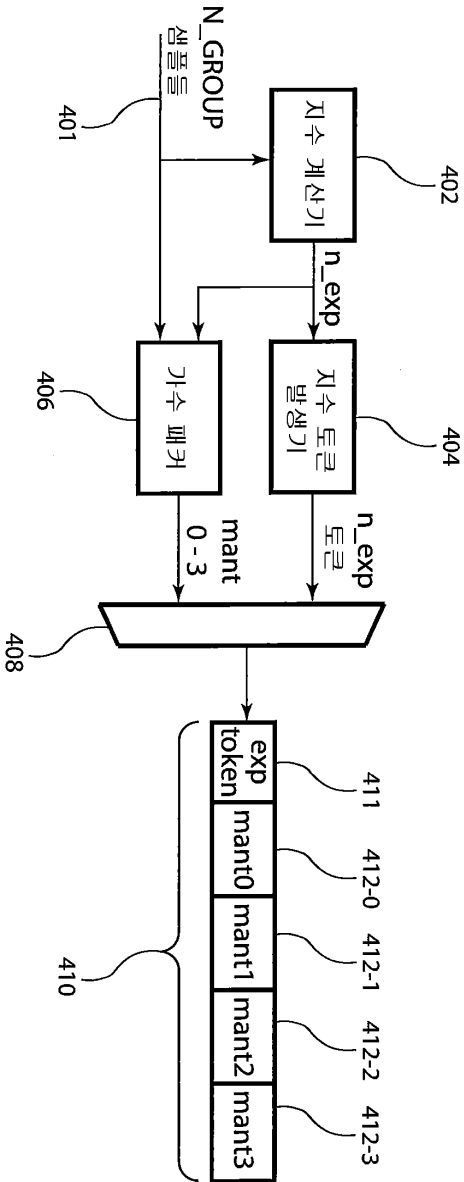
도면5



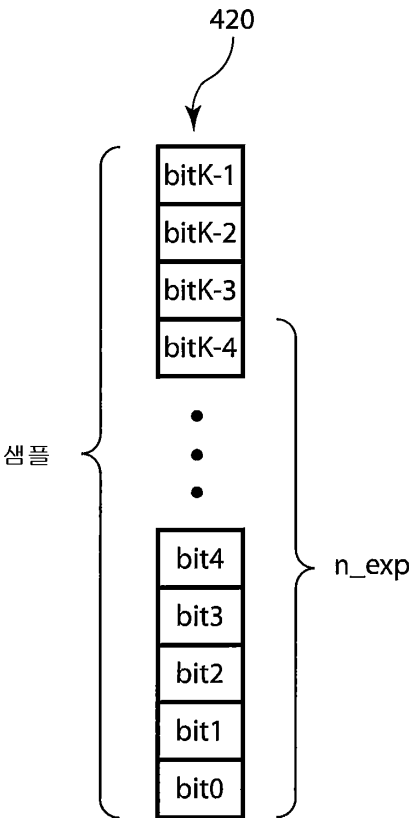
도면6



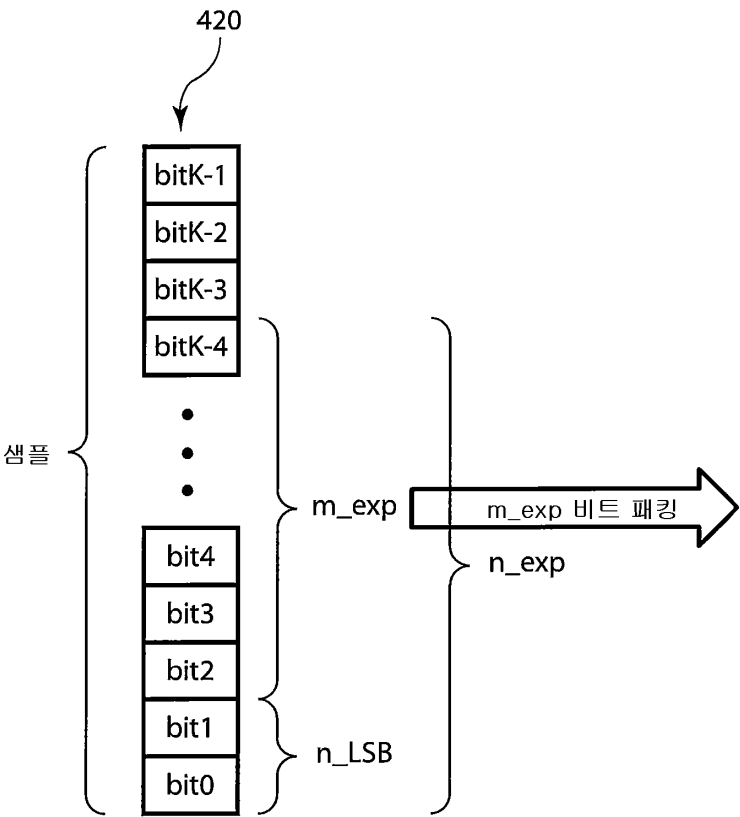
도면7



도면8



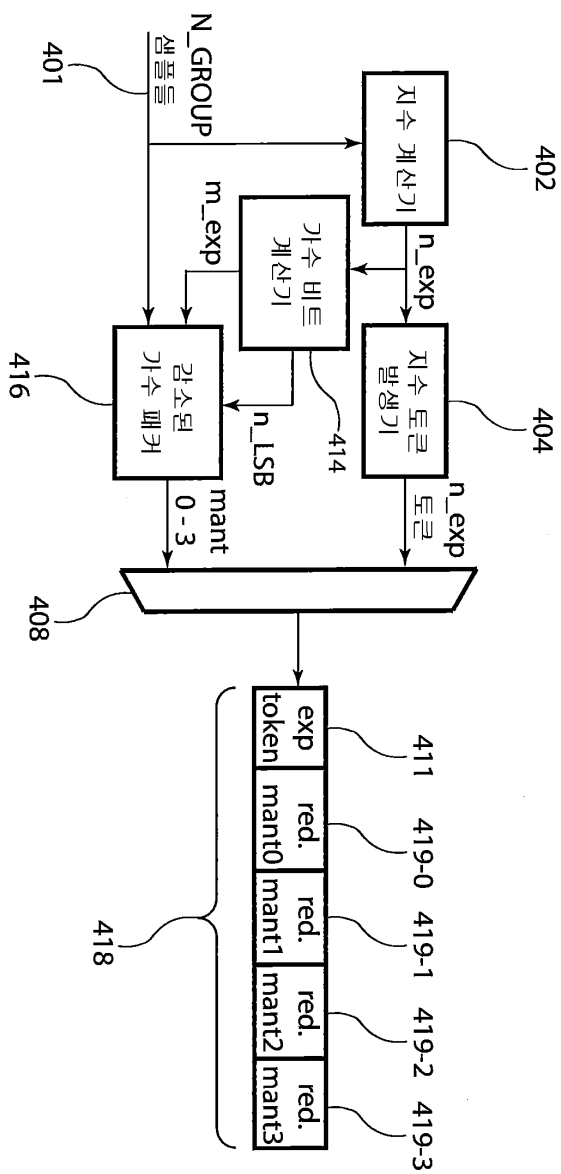
도면9



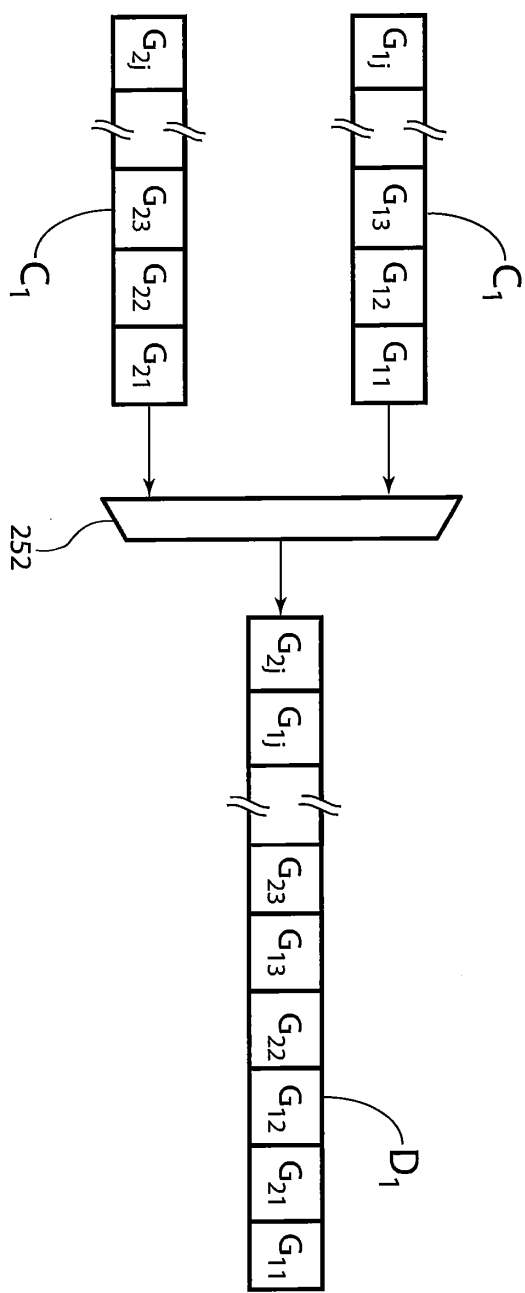
도면10

n_exp	n_LSB	m_exp
0	0	0
2	0	2
3	0	3
4	1	3
5	1	4
6	1	5
7	1	6
8	2	6
9	2	7
10	2	8
11	2	9
12	3	9
13	3	10
14	4	10

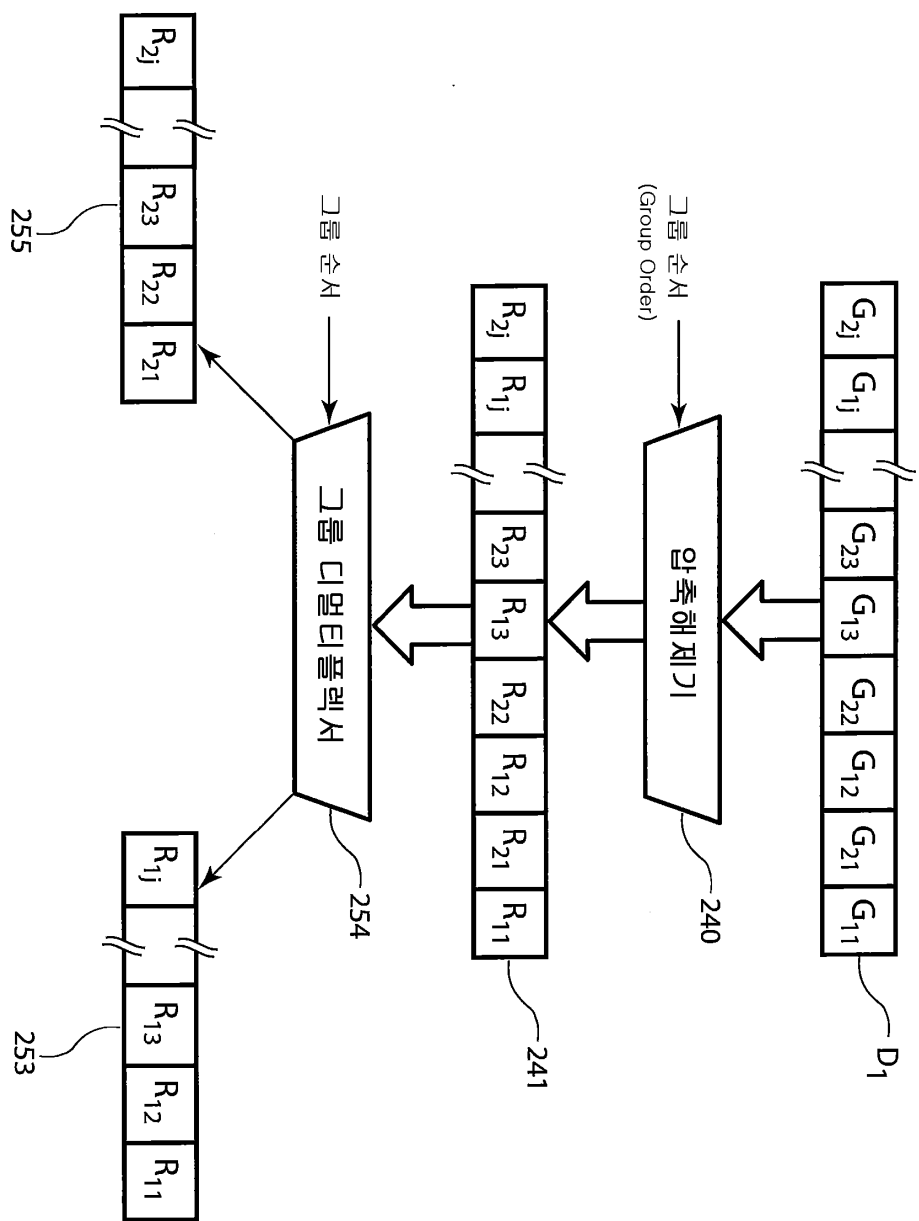
도면11



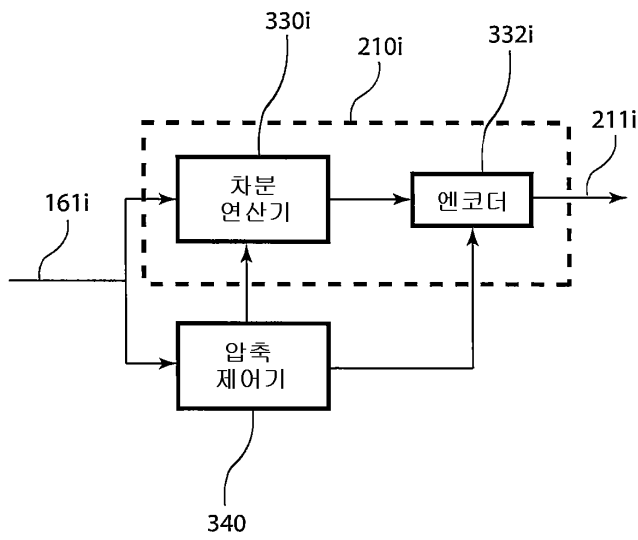
도면12



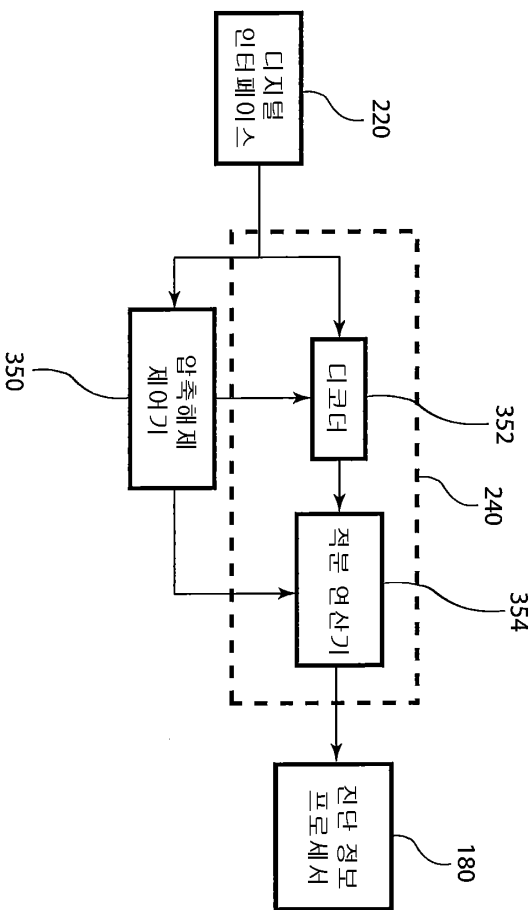
도면13



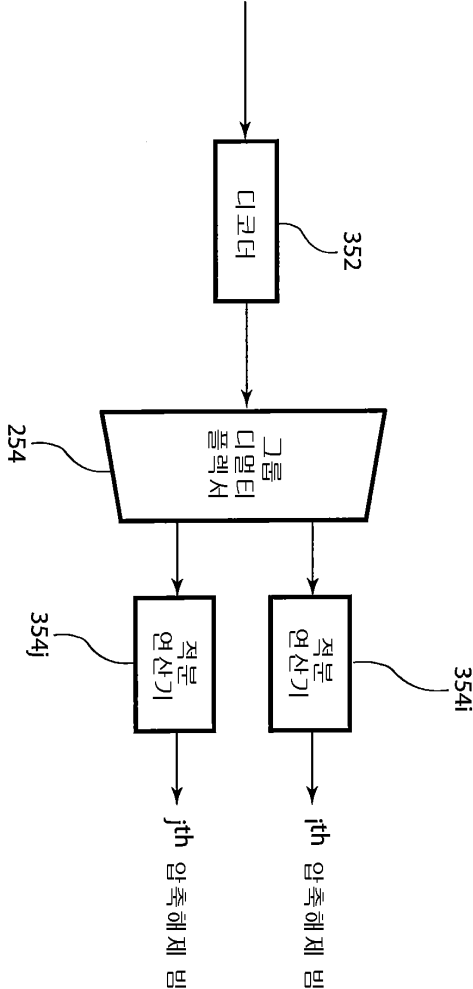
도면14



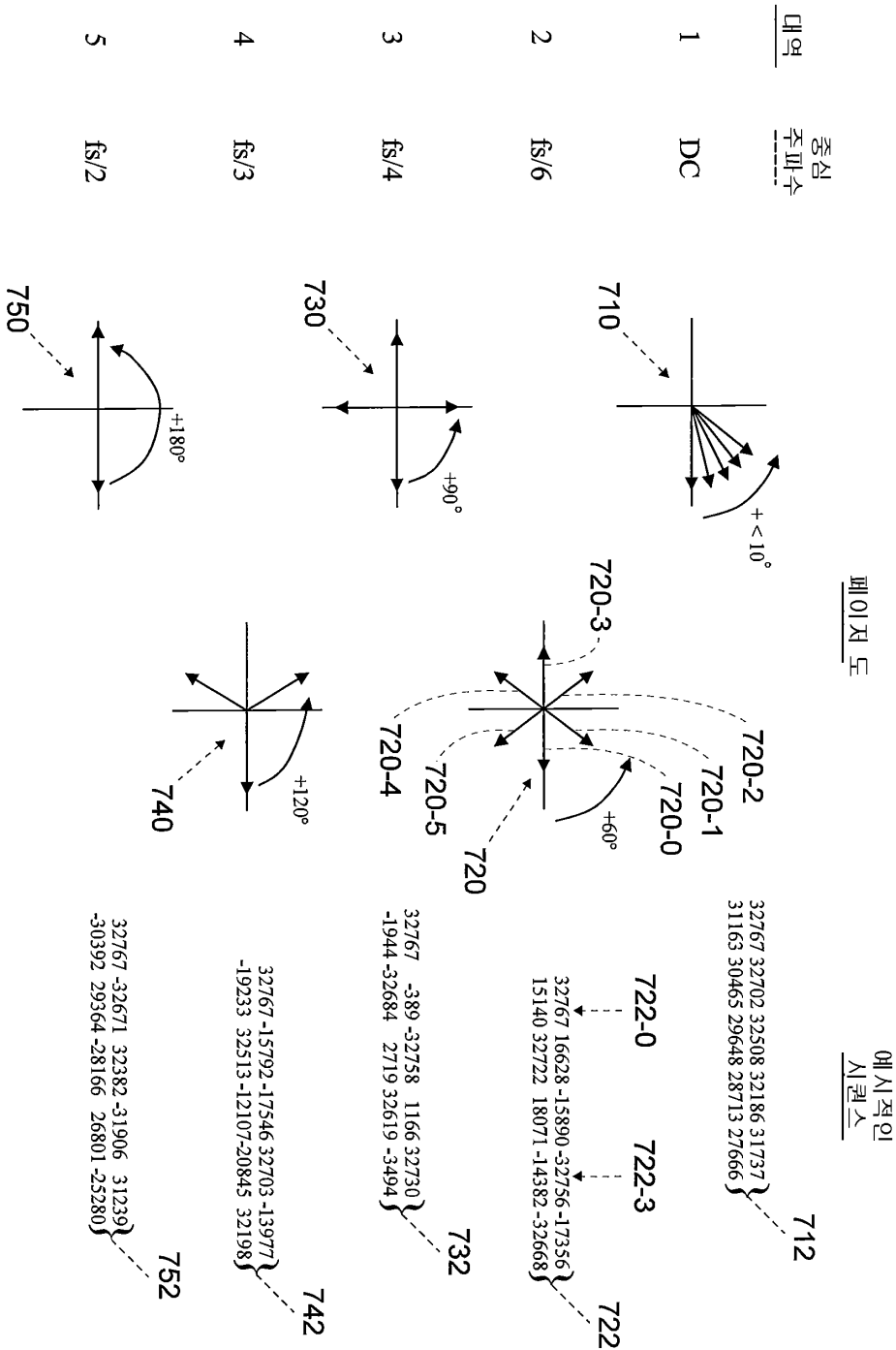
도면15



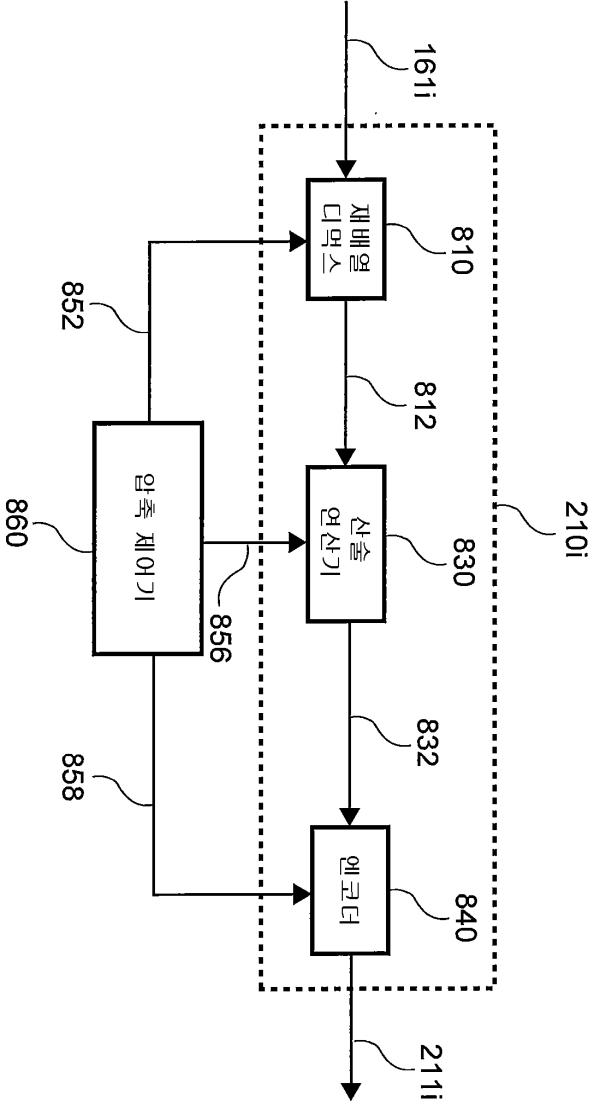
도면16



도면17



도면18

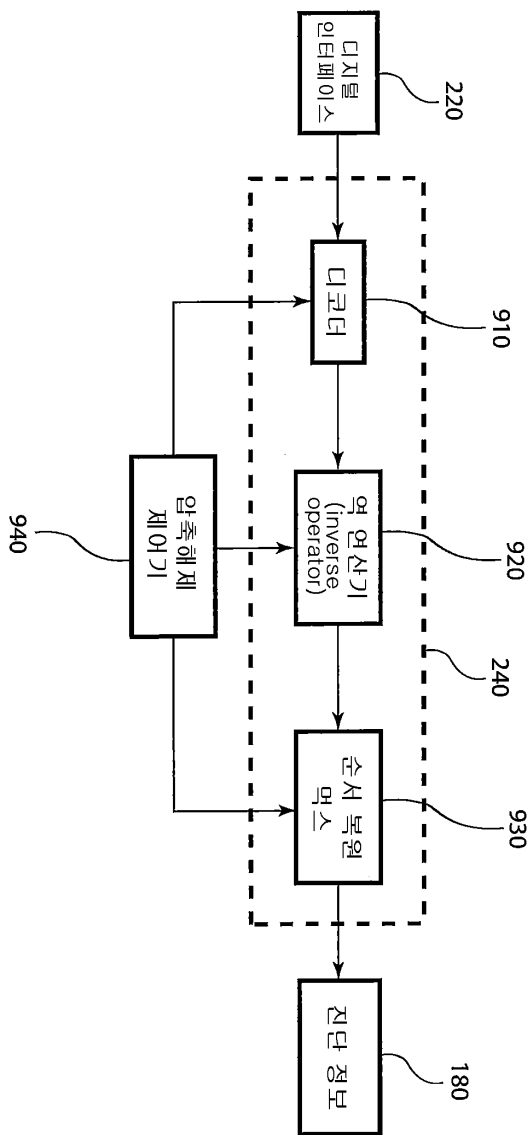


도면19

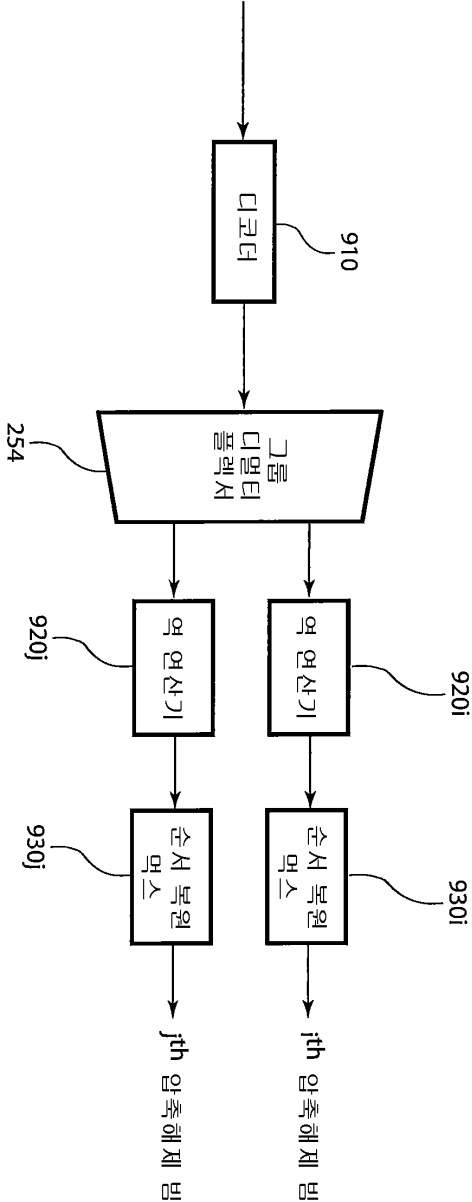
871	872	873	874	875
↑	↑	↑	↑	↑
중심 주파수	주파수 대역 표시자	디먹스 제어	인버터 제어	수정 샘플
DC	1	$x(i), x(i-1)$	$on = -x(i-1)$	$y(i) = x(i) - x(i-1)$
$fs/6$	2	$x(i), x(i-3)$	off	$y(i) = x(i) + x(i-3)$
$fs/4$	3	$x(i), x(i-2)$	off	$y(i) = x(i) + x(i-2)$
$fs/3$	4	$x(i), x(i-3)$	$on = -x(i-3)$	$y(i) = x(i) - x(i-3)$
$fs/2$	5	$x(i), x(i-1)$	off	$y(i) = x(i) + x(i-1)$

대역	중심 주파수	수정 샘플	예시적인 차분 또는 합
1	DC	$y(i) = x(i) - x(i-1)$	$x(i): 32767 \ 32702 \ 32508 \ 32186 \ 31737 \ 31163 \ 30465 \ 29648$ $x(i-1): 32767 \ 32702 \ 32508 \ 32186 \ 31737 \ 31163 \ 30465 \ 29648$ DIFF: -65 -194 -322 -449 -574 -707 -781 -935 912 ↗ 922 ↗
2	$f_s/6$	$y(i) = x(i) + x(i-3)$	$x(i): 32767 \ 16628 \ -15890 \ -32756 \ -17356 \ -15140 \ 32722 \ 18071$ $x(i-3): --- --- --- 32767 \ 16628 \ -15890 \ -32756 \ -17356$ SUM: --- --- --- 11 -728 -750 -34 715 932 ↗
3	$f_s/4$	$y(i) = x(i) + x(i-2)$	$x(i): 32767 \ -389 \ -32758 \ 1166 \ 32730 \ -1944 \ -32684 \ 2719 \ 32619$ $x(i-2): --- --- 32767 \ -389 \ -32758 \ 1166 \ 32730 \ -1944 \ -32684$ SUM: --- --- 9 777 28 -778 46 775 -65 942 ↗
4	$f_s/3$	$y(i) = x(i) - x(i-3)$	$x(i): 32767 \ -15792 \ -17546 \ 32703 \ -13977 \ -19233 \ 32513 \ -12107 \ -20845$ $x(i-3): --- --- --- 32767 \ -15792 \ -17546 \ 32703 \ -13977 \ -19233$ DIFF: --- --- --- -64 1815 -1687 -190 1870 -1612 952 ↗
5	$f_s/2$	$y(i) = x(i) + x(i-1)$	$x(i): 32767 \ -32671 \ 32382 \ -31906 \ 31239 \ -30392 \ 29364 \ -28166 \ 26801$ $x(i-1): --- 32767 \ -32671 \ 32382 \ -31906 \ 31239 \ -30392 \ 29364 \ -28166$ SUM: --- 96 -289 476 -667 847 -1028 1198 -1356 952 ↗

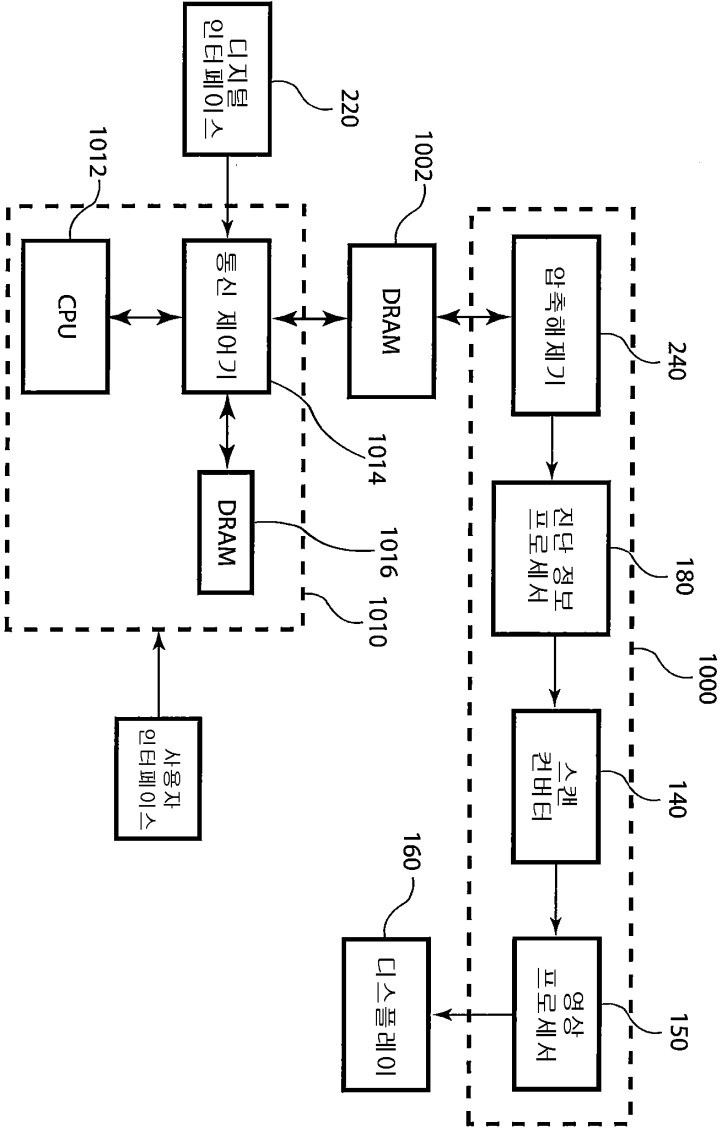
도면21



도면22



도면23



도면24

