



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0068547
(43) 공개일자 2025년05월16일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03H 1/22 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
G03H 1/2202 (2013.01)
G03H 2001/2247 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2024-0159490</p> <p>(22) 출원일자 2024년11월11일
심사청구일자 없음</p> <p>(30) 우선권주장
1020230154599 2023년11월09일 대한민국(KR)</p> | <p>(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)</p> <p>(72) 발명자
김휘용
대전광역시 유성구 은구비남로 34, 810동 201호(노은동, 열매마을아파트8단지새미래)</p> <p>최승미
경기도 수원시 영통구 봉영로1482번길 17-12, 204호(영통동)
(뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
성병기</p> |
|--|--|

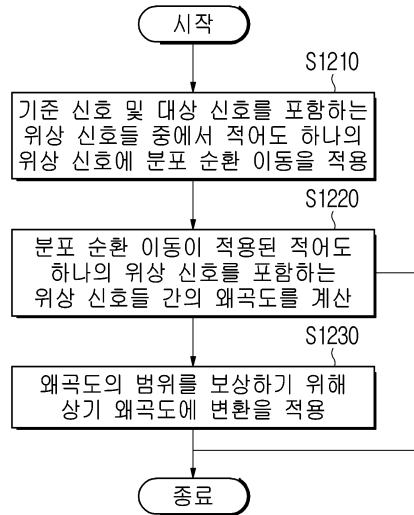
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 홀로그램 위상 신호 간의 왜곡 또는 유사도 계산 방법 및 장치

(57) 요약

복소 영상 신호의 부호화 및 복호화 방법 및 장치가 개시된다. 본 개시의 일 실시 예에 따른 홀로그램 위상 신호의 왜곡을 계산하는 방법은, 기준 신호 및 대상 신호를 포함하는 위상 신호들 중에서 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계, 상기 분포 순환 이동이 적용된 적어도 하나의 위상 신호를 포함하는 위상 신호들 간의 왜곡도를 계산하는 단계, 및 상기 왜곡도의 범위를 보상하기 위해 상기 왜곡도에 변환을 적용하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도12



(52) CPC특허분류

G03H 2226/02 (2013.01)

(72) 발명자

차준영

경기도 수원시 팔달구 효원로93번길 33, 102동
1101호(매교동, 힐스테이트 푸르지오 수원)

반현민

경기도 용인시 기흥구 서그내로 31, 103동 601호

명세서

청구범위

청구항 1

홀로그래프 위상 신호의 왜곡을 계산하는 방법에 있어서,

기준 신호 및 대상 신호를 포함하는 위상 신호들 중에서 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계;

상기 분포 순환 이동이 적용된 적어도 하나의 위상 신호를 포함하는 위상 신호들 간의 왜곡도를 계산하는 단계; 및

상기 왜곡도의 범위를 보상하기 위해 상기 왜곡도에 변환을 적용하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계는,

상기 위상 신호들의 평균 값을 기초로 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계는,

상기 위상 신호들 간의 SCD(Shortest Circular Distortion)의 평균 값을 기초로 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계는,

상기 위상 신호들 간의 거리가 소정의 조건을 만족하는 경우, 상기 적어도 하나의 위상 신호에 상기 위상 신호의 주기의 절반만큼 분포 순환 이동을 적용하는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계는,

상기 적어도 하나의 위상 신호에 임의로 선택된 전역 오프셋 후보들 중에서 결정된 하나의 전역 오프셋만큼 분포 순환 이동을 적용하는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 왜곡도는,

상기 위상 신호들의 이미지 도메인 상에서의 왜곡도인 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,
상기 왜곡도는,
상기 위상 신호들 간의 SCD(Shortest Circular Distortion)를 기초로 계산되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,
상기 왜곡도는,
상기 위상 신호들의 복소 도메인 상에서의 왜곡도인 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,
상기 왜곡도에 변환을 적용하는 단계는,
상기 왜곡도의 범위를 상기 위상 신호들의 수치적 복원 도메인의 범위에 상응하도록 변환하는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,
상기 왜곡도에 변환을 적용하는 단계는,
상기 왜곡도에 선형 변환을 적용하는 것을 특징으로 하는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 홀로그래프 위상 신호의 이동 불변성을 고려하여 수치적 복원 영상에서의 왜곡 또는 유사도 값과 비슷한 왜곡 값을 계산할 수 있는 홀로그래프 위상 신호의 왜곡 또는 유사도 계산 장치 및 방법에 관한 것이다. 본 발명의 위상 왜곡 또는 유사도 측정 방식은 원주상의 두 신호 간 거리가 가까운 상태에서 왜곡 또는 유사도를 구함으로써 정밀한 측정값을 제공할 수 있다.

배경 기술

[0002] 홀로그래피(holography)는 빛의 진폭과 위상 정보를 다루는 기존의 스테레오 방식의 초점-수렴 거리 불일치(vergence-accommodation conflict) 문제를 해결함으로써 완전한 3차원 영상을 재현하는 기술이다. 홀로그래피는 피사체에서 반사된 물체광과 참조광 서로 간의 간섭으로 인해 생성된 간섭무늬를 기록하여 홀로그래프를 획득하고, 획득한 홀로그래프에 참조광을 비추어 입체 공간상에 3차원 영상을 재현하는 기술이다.

[0003] 종래에는 복원 도메인에서 왜곡 및 유사도를 계산하여 위상 신호처리 및 평가에 활용하였다. 그러나 수치적 복원 과정은 매우 큰 계산 복잡도가 요구되며, 복원이 불가능한 상황도 존재한다.

[0004] 또는, 홀로그래프의 위상 신호 간의 왜곡 또는 유사도를 계산함에 있어 자연 영상에 대해 설계된 왜곡 또는 유사도 계산 방법이나 위상 신호의 주기성을 고려하여 설계된 위상 왜곡 또는 유사도 계산 방법을 활용하였다. 예를 들어, 반복최적화 과정의 손실 함수로는 Mean Squared Error (MSE), 위상 신호의 화질 평가에는 Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index Measure (SSIM) 등을 이용하여 왜곡을 측정할 수 있다.

[0005] 종래에는 홀로그래프의 위상 신호 간의 왜곡 또는 유사도를 계산함에 있어 홀로그래프 위상 신호의 이동 불변성을 고려하지 않아 수치적복원 결과의 왜곡 또는 유사도 값과 매우 다른 결과로 신호처리 및 홀로그래프 화질 평가에 대한 성능 저하를 초래하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 개시는 홀로그래프 위상 신호의 이동 불변성을 고려하여, 수치적 복원 영상의 왜곡 측정값과 유사하게 위상 왜곡 값을 계산하는 위상 왜곡 측정 장치 및 방법을 제공할 수 있다.

[0007] 본 개시에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 개시에 따르면, 홀로그래프 위상 신호의 왜곡을 계산하는 방법에 있어서, 기준 신호 및 대상 신호를 포함하는 위상 신호들 중에서 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계; 상기 분포 순환 이동이 적용된 적어도 하나의 위상 신호를 포함하는 위상 신호들 간의 왜곡도를 계산하는 단계; 및 상기 왜곡도의 범위를 보상하기 위해 상기 왜곡도에 변환을 적용하는 단계를 포함할 수 있다.

[0009] 여기서, 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계는, 상기 위상 신호들의 평균 값을 기초로 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0010] 여기서, 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계는, 상기 위상 신호들 간의 SCD(Shortest Circular Distortion)의 평균 값을 기초로 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0011] 여기서, 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계는, 상기 위상 신호들 간의 거리가 소정의 조건을 만족하는 경우, 상기 적어도 하나의 위상 신호에 상기 위상 신호의 주기의 절반만큼 분포 순환 이동을 적용하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0012] 여기서, 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계는, 상기 적어도 하나의 위상 신호에 임의로 선택된 전역 오프셋 후보들 중에서 결정된 하나의 전역 오프셋만큼 분포 순환 이동을 적용하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0013] 여기서, 상기 왜곡도는, 상기 위상 신호들의 이미지 도메인 상에서의 왜곡도인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0014] 여기서, 상기 왜곡도는, 상기 위상 신호들 간의 SCD(Shortest Circular Distortion)를 기초로 계산되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0015] 여기서, 상기 왜곡도는, 상기 위상 신호들의 복소 도메인 상에서의 왜곡도인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0016] 여기서, 상기 왜곡도에 변환을 적용하는 단계는, 상기 왜곡도의 범위를 상기 위상 신호들의 수치적 복원 도메인의 범위에 상응하도록 변환하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0017] 여기서, 상기 왜곡도에 변환을 적용하는 단계는, 상기 왜곡도에 선형 변환을 적용하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0018] 본 개시에 대하여 위에서 간략하게 요약된 특징들은 후술하는 본 개시의 상세한 설명의 예시적인 양상일 뿐이며, 본 개시의 범위를 제한하는 것은 아니다.

발명의 효과

[0019] 본 개시에 따르면, 홀로그래프 위상 신호의 이동 불변성을 고려하여, 수치적 복원 영상의 왜곡 측정값과 유사하게 위상 왜곡 값을 계산하는 위상 왜곡 측정 장치 및 방법을 제공함으로써, 신호 처리 과정에서의 계산 복잡도를 줄이고 성능 저하를 최소화할 수 있다.

[0020] 본 개시에 따른 위상 왜곡 측정 장치 및 방법은 원주상의 두 신호 간 거리가 가까운 상태에서 왜곡 또는 유사도를 구함으로써 정밀한 측정값을 제공할 수 있다.

[0021] 본 개시에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명이 적용되는 부호화 장치의 일 실시예에 따른 구성을 나타내는 블록도이다.
- 도 2는 본 발명이 적용되는 복호화 장치의 일 실시예에 따른 구성을 나타내는 블록도이다.
- 도 3은 원본 신호를 목표 신호로 전파하는 방법에 대한 모델링의 일 실시예를 도시한 도면이다.
- 도 4는 일반 영상 신호와 위상 영상 신호의 거리 또는 왜곡을 도시한 도면이다.
- 도 5는 위상 홀로그램 신호에 분포 순환 이동을 적용한 일 실시예를 도시한 도면이다.
- 도 6은 본 개시의 일 실시예에 따른 홀로그램의 위상 신호 간의 왜곡 또는 유사도를 계산하는 방법 및 장치의 일 실시예를 도시한 도면이다.
- 도 7은 위상 홀로그램 신호에 분포 순환 이동을 적용한 일 실시예를 도시한 도면이다.
- 도 8은 위상 홀로그램 신호에 분포 순환 이동을 적용한 일 실시예를 도시한 도면이다.
- 도 9는 위상 홀로그램 신호에 분포 순환 이동을 적용한 일 실시예를 도시한 도면이다.
- 도 10은 위상 홀로그램 신호에 분포 순환 이동을 적용한 일 실시예를 도시한 도면이다.
- 도 11은 본 개시의 일 실시예에 따른 홀로그램의 위상 신호를 처리하는 방법 및 장치의 일 실시예를 도시한 도면이다.
- 도 12는 본 개시의 일 실시예에 따른 홀로그램의 위상 신호 간의 왜곡 또는 유사도를 계산하는 방법의 일 실시예를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 개시의 실시 예에 대하여 본 개시가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나, 본 개시는 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예에 한정되지 않는다.
- [0024] 본 개시의 실시 예를 설명함에 있어서 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 개시의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그에 대한 상세한 설명은 생략한다. 그리고, 도면에서 본 개시에 대한 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0025] 본 개시에 있어서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소와 "연결", "결합" 또는 "접속"되어 있다고 할 때, 이는 직접적인 연결관계 뿐만 아니라, 그 중간에 또 다른 구성요소가 존재하는 간접적인 연결관계도 포함할 수 있다. 또한 어떤 구성요소가 다른 구성요소를 "포함한다" 또는 "가진다"고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 배제하는 것이 아니라 또 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0026] 본 개시에 있어서, 제1, 제2 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용되며, 특별히 언급되지 않는 한 구성요소들 간의 순서 또는 중요도 등을 한정하지 않는다. 따라서, 본 개시의 범위 내에서 일 실시 예에서의 제1 구성요소는 다른 실시 예에서 제2 구성요소라고 칭할 수도 있고, 마찬가지로 일 실시 예에서의 제2 구성요소를 다른 실시 예에서 제1 구성요소라고 칭할 수도 있다.
- [0027] 본 개시에 있어서, 서로 구별되는 구성요소들은 각각의 특징을 명확하게 설명하기 위함이며, 구성요소들이 반드시 분리되는 것을 의미하지는 않는다. 즉, 복수의 구성요소가 통합되어 하나의 하드웨어 또는 소프트웨어 단위로 이루어질 수도 있고, 하나의 구성요소가 분산되어 복수의 하드웨어 또는 소프트웨어 단위로 이루어질 수도 있다. 따라서, 별도로 언급하지 않더라도 이와 같이 통합된 또는 분산된 실시 예도 본 개시의 범위에 포함된다.
- [0028] 본 개시에 있어서, 다양한 실시 예에서 설명하는 구성요소들이 반드시 필수적인 구성요소들을 의미하는 것은 아니며, 일부는 선택적인 구성요소일 수 있다. 따라서, 일 실시 예에서 설명하는 구성요소들의 부분집합으로 구성되는 실시 예도 본 개시의 범위에 포함된다. 또한, 다양한 실시 예에서 설명하는 구성요소들에 추가적으로 다른 구성요소를 포함하는 실시 예도 본 개시의 범위에 포함된다.
- [0029] 본 개시의 명세서에 기재된 "편부", "편모듈", "편수단" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

- [0031] 용어정리
- [0032] 부호화기(Encoder): 부호화를 수행하는 장치를 의미할 수 있다.
- [0033] 복호화기(Decoder): 복호화를 수행하는 장치를 의미할 수 있다.
- [0034] 블록(Block): 샘플(Sample)의 $M \times N$ 배열이며, 여기서 M 과 N 은 양의 정수 값을 의미하며, 블록은 흔히 2차원 형태의 샘플 배열을 의미할 수 있다.
- [0035] 유닛(Unit): 영상 부호화 및 복호화의 단위를 의미할 수 있다. 영상의 부호화 및 복호화에 있어서, 유닛은 하나의 영상의 분할에 의해 생성된 영역일 수 있다. 또한, 유닛은 하나의 영상을 세분화된 유닛으로 분할하여 부호화 혹은 복호화 할 때 그 분할된 단위를 의미할 수 있다. 영상의 부호화 및 복호화에 있어서, 유닛 별로 기정의된 처리가 수행될 수 있다. 하나의 유닛은 유닛에 비해 더 작은 크기를 갖는 하위 유닛으로 더 분할될 수 있다. 기능에 따라서, 유닛은 블록(Block), 매크로블록 (Macroblock), 부호화 트리 유닛(Coding Tree Unit), 부호화 트리 블록(Coding Tree Block), 부호화 유닛(Coding Unit), 부호화 블록(Coding Block), 예측 유닛(Prediction Unit), 예측 블록(Prediction Block), 변환 유닛(Transform Unit), 변환 블록(Transform Block) 등을 의미할 수 있다. 또한, 유닛은 블록과 구분하여 지칭하기 위해 휘도(Luma) 성분 블록과 그에 대응하는 색차(Chroma) 성분 블록 그리고 각 블록에 대한 구문 요소를 포함한 것을 의미할 수 있다. 유닛은 다양한 크기와 형태를 가질 수 있으며, 특히 유닛의 형태는 직사각형뿐만 아니라 정사각형, 사다리꼴, 삼각형, 오각형 등 2차원으로 표현할 수 있는 기하학적 도형을 포함할 수 있다. 또한, 유닛 정보에는 부호화 유닛, 예측 유닛, 변환 유닛 등을 가리키는 유닛의 타입, 유닛의 크기, 유닛의 깊이, 유닛의 부호화 및 복호화 순서 등 중 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0036] 복원된 주변 유닛(Reconstructed Neighbor Unit): 부호화/복호화 대상 유닛 주변에 공간적(Spatial)/시간적(Temporal)으로 이미 부호화 혹은 복호화되어 복원된 유닛을 의미할 수 있다.
- [0037] 유닛 깊이(Depth): 유닛이 분할된 정도를 의미하며, 트리 구조(Tree Structure)에서 루트 노드(Root Node)는 깊이가 가장 얇고, 리프 노드(Leaf Node)는 깊이가 가장 깊다고 할 수 있다.
- [0038] 심볼(Symbol): 부호화/복호화 대상 유닛 구문 요소 및 부호화 파라미터(coding parameter), 변환 계수(Transform Coefficient)의 값 등을 의미할 수 있다.
- [0039] 파라미터 세트(Parameter Set): 비트스트림 내의 구조 중 헤더 정보에 해당할 수 있으며, 비디오 파라미터 세트(video parameter set), 시퀀스 파라미터 세트 (sequence parameter set), 픽처 파라미터 세트(picture parameter set), 적응 파라미터 세트(adaptation parameter set) 중 적어도 하나 이상이 파라미터 세트에 포함될 수 있다. 또한, 파라미터 세트에는 슬라이스(slice) 헤더 및 타일(tile) 헤더 정보를 포함한 의미를 가질 수 있다.
- [0040] 비트스트림(Bitstream): 부호화된 영상 정보를 포함하는 비트의 열을 의미할 수 있다.
- [0041] 부호화 파라미터(Coding Parameter): 구문 요소와 같이 부호화기에서 부호화되어 복호화기로 전송되는 정보뿐만 아니라, 부호화 혹은 복호화 과정에서 유추될 수 있는 정보를 포함할 수 있으며, 영상을 부호화하거나 복호화할 때 필요한 정보를 의미할 수 있다. 예를 들어, 화면 내 예측 모드, 화면 간 예측 모드, 화면 내 예측 방향, 움직임 정보, 움직임 벡터, 참조 영상 색인, 화면 간 예측 방향, 화면 간 예측 지시자, 참조 영상 리스트, 움직임 벡터 예측기, 움직임 병합 후보, 변환 종류, 변환 크기, 추가 변환 사용 유무, 루프 내 필터 정보, 잔여 신호 유무, 양자화 매개변수, 문맥 모델, 변환 계수, 변환 계수 레벨, 부호화 블록 패턴(Coded Block Pattern), 부호화 블록 플래그(Coded Block Flag), 영상 디스플레이/출력 순서, 슬라이스 정보, 타일 정보, 픽처 타입, 움직임 병합 모드 사용 유무, 스킵 모드 사용 유무, 블록 크기, 블록 깊이, 블록 분할 정보, 유닛 크기, 유닛 깊이, 유닛 분할 정보 등의 값 및/또는 통계 중 적어도 하나 이상이 부호화 파라미터에 포함될 수 있다.
- [0042] 도 1은 본 발명이 적용되는 부호화 장치의 일 실시예에 따른 구성을 나타내는 블록도이다.
- [0043] 부호화 장치(100)는 비디오 부호화 장치 또는 영상 부호화 장치일 수 있다. 비디오는 하나 이상의 영상들을 포함할 수 있다. 부호화 장치(110)는 비디오의 하나 이상의 영상들을 시간에 따라 순차적으로 부호화할 수 있다.
- [0044] 도 1을 참조하면, 부호화 장치(100)는 움직임 예측부(111), 움직임 보상부(112), 인트라 예측부(120), 스위치(115), 감산기(125), 변환부(130), 양자화부(140), 엔트로피 부호화부 (150), 역양자화부(160), 역변환부(170), 가산기(175), 필터부(180) 및 참조 픽처 버퍼(190)를 포함할 수 있다.

- [0045] 부호화 장치(100)는 입력 영상에 대해 인트라 모드 및/또는 인터 모드로 부호화를 수행할 수 있다. 또한, 부호화 장치(100)는 입력 영상에 대한 부호화를 통해 비트스트림을 생성할 수 있고, 생성된 비트스트림을 출력할 수 있다. 예측 모드로 인트라 모드가 사용되는 경우 스위치(115)는 인트라로 전환될 수 있고, 예측 모드로 인터 모드가 사용되는 경우 스위치(115)는 인터로 전환될 수 있다. 여기서 인트라 모드는 화면 내 예측 모드를 의미할 수 있으며, 인터 모드는 화면 간 예측 모드를 의미할 수 있다. 부호화 장치(100)는 입력 영상의 입력 블록에 대한 예측 블록을 생성할 수 있다. 또한, 부호화 장치(100)는 예측 블록이 생성된 후, 입력 블록 및 예측 블록의 차분(residual)을 부호화할 수 있다. 입력 영상은 현재 부호화의 대상인 현재 영상으로 칭해질 수 있다. 입력 블록은 현재 부호화의 대상인 현재 블록 혹은 부호화 대상 블록으로 칭해질 수 있다.
- [0046] 예측 모드가 인트라 모드인 경우, 인트라 예측부(120)는 현재 블록의 주변에 이미 부호화된 블록의 픽셀 값을 참조 화소로서 이용할 수 있다. 인트라 예측부(120)는 참조 화소를 이용하여 공간적 예측을 수행할 수 있고, 공간적 예측을 통해 입력 블록에 대한 예측 샘플들을 생성할 수 있다. 여기서 인트라 예측은 화면 내 예측을 의미할 수 있다.
- [0047] 예측 모드가 인터 모드인 경우, 움직임 예측부(111)는, 움직임 예측 과정에서 참조 영상으로부터 입력 블록과 가장 매치가 잘 되는 영역을 검색할 수 있고, 검색된 영역을 이용하여 움직임 벡터를 도출할 수 있다. 참조 영상은 참조 픽처 버퍼(190)에 저장될 수 있다.
- [0048] 움직임 보상부(112)는 움직임 벡터를 이용하는 움직임 보상을 수행함으로써 예측 블록을 생성할 수 있다. 여기서, 움직임 벡터는 인터 예측에 사용되는 2차원 벡터일 수 있다. 또한 움직임 벡터는 현재 영상 및 참조 영상 간의 오프셋(offset)을 나타낼 수 있다. 여기서 인터 예측은 화면 간 예측을 의미할 수 있다.
- [0049] 상기 움직임 예측부(111)와 움직임 보상부(112)는 움직임 벡터의 값이 정수 값을 가지지 않을 경우에 참조 영상 내의 일부 영역에 대해 보간 필터(Interpolation Filter)를 적용하여 예측 블록을 생성할 수 있다. 화면 간 예측 혹은 움직임 보상을 수행하기 위해 부호화 유닛을 기준으로 해당 부호화 유닛에 포함된 예측 유닛의 움직임 예측 및 움직임 보상 방법이 스킵 모드(Skip Mode), 머지 모드(Merge mode), AMVP 모드(AMVP Mode) 중 어떠한 방법인지 여부를 판단할 수 있고, 각 모드에 따라 화면 간 예측 혹은 움직임 보상을 수행할 수 있다.
- [0050] 감산기(125)는 입력 블록 및 예측 블록의 차분을 사용하여 잔여 블록(residual block)을 생성할 수 있다. 잔여 블록은 잔여 신호로 칭해질 수도 있다.
- [0051] 변환부(130)는 잔여 블록에 대해 변환(transform)을 수행하여 변환 계수(transform coefficient)를 생성할 수 있고, 변환 계수를 출력할 수 있다. 여기서, 변환 계수는 잔여 블록에 대한 변환을 수행함으로써 생성된 계수 값일 수 있다. 변환 생략(transform skip) 모드가 적용되는 경우, 변환부(130)는 잔여 블록에 대한 변환을 생략할 수도 있다.
- [0052] 변환 계수에 양자화를 적용함으로써 양자화된 변환 계수 레벨(transform coefficient level)이 생성될 수 있다. 이하, 실시예들에서는 양자화된 변환 계수 레벨도 변환 계수로 칭해질 수 있다.
- [0053] 양자화부(140)는 변환 계수를 양자화 매개변수에 따라 양자화함으로써 양자화된 변환 계수 레벨(transform coefficient level)을 생성할 수 있고, 양자화된 변환 계수 레벨을 출력할 수 있다. 이때, 양자화부(140)에서는 양자화 행렬을 사용하여 변환 계수를 양자화할 수 있다.
- [0054] 엔트로피 부호화부(150)는, 양자화부(140)에서 산출된 값들 또는 부호화 과정에서 산출된 부호화 파라미터(Coding Parameter) 값들 등에 대하여 확률 분포에 따른 엔트로피 부호화를 수행함으로써 비트스트림(bitstream)을 생성할 수 있고, 비트스트림을 출력할 수 있다. 엔트로피 부호화부(150)는 영상의 픽셀의 정보 외에 영상의 복호화를 위한 정보에 대한 엔트로피 부호화를 수행할 수 있다. 예를 들면, 영상의 복호화를 위한 정보는 구문 요소(syntax element) 등을 포함할 수 있다.
- [0055] 엔트로피 부호화가 적용되는 경우, 높은 발생 확률을 갖는 심볼(symbol)에 적은 수의 비트가 할당되고 낮은 발생 확률을 갖는 심볼에 많은 수의 비트가 할당되어 심볼이 표현됨으로써, 부호화 대상 심볼들에 대한 비트열의 크기가 감소될 수 있다. 따라서 엔트로피 부호화를 통해서 영상 부호화의 압축 성능이 높아질 수 있다. 엔트로피 부호화부(150)는 엔트로피 부호화를 위해 지수 곱셈(exponential golomb), CAVLC(Context-Adaptive Variable Length Coding), CABAC(Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding)과 같은 부호화 방법을 사용할 수 있다. 예를 들면, 엔트로피 부호화부(150)는 가변 길이 부호화(Variable Length Coding/Code; VLC) 테이블을 이용하여 엔트로피 부호화를 수행할 수 있다. 또한 엔트로피 부호화부(150)는 대상 심볼의 이진화

(binarization) 방법 및 대상 심볼/빈(bin)의 확률 모델(probability model)을 도출한 후, 도출된 이진화 방법 또는 확률 모델을 사용하여 산술 부호화를 수행할 수도 있다.

[0056] 엔트로피 부호화부(150)는 변환 계수 레벨을 부호화하기 위해 변환 계수 스캐닝(Transform Coefficient Scanning) 방법을 통해 2차원의 블록 형태 계수를 1차원의 벡터 형태로 변경할 수 있다. 예를 들어, 업라이트(up right) 스캐닝을 이용하여 블록의 계수를 스캔함으로써 1차원 벡터 형태로 변경시킬 수 있다. 변환 유닛의 크기 및 화면 내 예측 모드에 따라 업라이트 스캔 대신 2차원의 블록 형태 계수를 열 방향으로 스캔하는 수직 스캔, 2차원의 블록 형태 계수를 행 방향으로 스캔하는 수평 스캔이 사용될 수도 있다. 즉, 변환 유닛의 크기 및 화면 내 예측 모드에 따라 업라이트 스캔, 수직 방향 스캔 및 수평 방향 스캔 중 어떠한 스캔 방법이 사용될지 여부를 결정할 수 있다.

[0057] 부호화 파라미터(Coding Parameter)는 구문 요소와 같이 부호화기에서 부호화되어 복호화기로 전송되는 정보뿐만 아니라, 부호화 혹은 복호화 과정에서 유추될 수 있는 정보를 포함할 수 있으며, 영상을 부호화하거나 복호화할 때 필요한 정보를 의미할 수 있다. 예를 들어, 화면 내 예측 모드, 화면 간 예측 모드, 화면 내 예측 방향, 움직임 정보, 움직임 벡터, 참조 영상 색인, 화면 간 예측 방향, 화면 간 예측 지시자, 참조 영상 리스트, 움직임 벡터 예측기, 움직임 병합 후보, 변환 종류, 변환 크기, 추가 변환 사용 유무, 루프 내 필터 정보, 잔여 신호 유무, 양자화 매개변수, 문맥 모델, 변환 계수, 변환 계수 레벨, 부호화 블록 패턴(Coded Block Pattern), 부호화 블록 플래그(Coded Block Flag), 영상 디스플레이/출력 순서, 슬라이스 정보, 타일 정보, 픽처 타입, 움직임 병합 모드 사용 유무, 스킵 모드 사용 유무, 블록 크기, 블록 깊이, 블록 분할 정보, 유닛 크기, 유닛 깊이, 유닛 분할 정보 등의 값 및/또는 통계 중 적어도 하나 이상이 부호화 파라미터에 포함될 수 있다.

[0058] 잔여 신호는 원 신호 및 예측 신호 간의 차이(difference)를 의미할 수 있다. 또는, 잔여 신호는 원신호 및 예측 신호 간의 차이를 변환(transform) 함으로써 생성된 신호일 수 있다. 또는, 잔여 신호는 원 신호 및 예측 신호 간의 차이를 변환 및 양자화함으로써 생성된 신호일 수 있다. 잔여 블록은 블록 단위의 잔여 신호일 수 있다.

[0059] 부호화 장치(100)가 인터 예측을 통한 부호화를 수행할 경우, 부호화된 현재 영상은 이후에 처리되는 다른 영상(들)에 대하여 참조 영상으로서 사용될 수 있다. 따라서, 부호화 장치(100)는 부호화된 현재 영상을 다시 복호화할 수 있고, 복호화된 영상을 참조 영상으로 저장할 수 있다. 복호화를 위해 부호화된 현재 영상에 대한 역양자화 및 역변환이 처리될 수 있다.

[0060] 양자화된 계수는 역양자화부(160)에서 역양자화(dequantization)될 수 있고, 역변환부(170)에서 역변환(inverse transform)될 수 있다. 역양자화 및 역변환된 계수는 가산기(175)를 통해 예측 블록과 합해질 수 있다, 역양자화 및 역변환된 계수 및 예측 블록을 합함으로써 복원 블록(reconstructed block)이 생성될 수 있다.

[0061] 복원 블록은 필터부(180)를 거칠 수 있다. 필터부(180)는 디블록킹 필터(deblocking filter), 샘플 적응적 오프셋(Sample Adaptive Offset; SAO), 적응적 루프 필터(Adaptive Loop Filter; ALF) 중 적어도 하나 이상을 복원 블록 또는 복원 영상에 적용할 수 있다. 필터부(180)는 인루프 필터(in-loop filter)로 칭해질 수도 있다.

[0062] 디블록킹 필터는 블록들 간의 경계에 생긴 블록 왜곡을 제거할 수 있다. 디블록킹 필터를 수행할지 여부를 판단하기 위해 블록에 포함된 몇 개의 열 또는 행에 포함된 픽셀을 기초로 현재 블록에 디블록킹 필터 적용할지 여부를 판단할 수 있다. 블록에 디블록킹 필터를 적용하는 경우 필요한 디블록킹 필터링 강도에 따라 강한 필터(Strong Filter) 또는 약한 필터(Weak Filter)를 적용할 수 있다. 또한 디블록킹 필터를 적용함에 있어 수직 필터링 및 수평 필터링 수행시 수평 방향 필터링 및 수직 방향 필터링이 병행 처리되도록 할 수 있다.

[0063] 샘플 적응적 오프셋은 부호화 에러를 보상하기 위해 픽셀 값에 적정 오프셋(offset) 값을 더할 수 있다. 샘플 적응적 오프셋은 디블록킹을 수행한 영상에 대해 픽셀 단위로 원본 영상과의 오프셋을 보정할 수 있다. 특정 픽처에 대한 오프셋 보정을 수행하기 위해 영상에 포함된 픽셀을 일정한 수의 영역으로 구분한 후 오프셋을 수행할 영역을 결정하고 해당 영역에 오프셋을 적용하는 방법 또는 각 픽셀의 에지 정보를 고려하여 오프셋을 적용하는 방법을 사용할 수 있다.

[0064] 적응적 루프 필터는 복원 영상 및 원래의 영상을 비교한 값에 기반하여 필터링을 수행할 수 있다. 영상에 포함된 픽셀을 소정의 그룹으로 나눈 후 해당 그룹에 적용될 하나의 필터를 결정하여 그룹마다 차별적으로 필터링을 수행할 수 있다. 적응적 루프 필터를 적용할지 여부에 관련된 정보는 휘도 신호는 부호화 유닛(Coding Unit, CU) 별로 전송될 수 있고, 각각의 블록에 따라 적용될 적응적 루프 필터의 모양 및 필터 계수는 달라질 수

있다. 또한, 적용 대상 블록의 특성에 상관없이 동일한 형태 (고정된 형태)의 적응적 루프 필터가 적용될 수도 있다.

- [0065] 필터부(180)를 거친 복원 블록은 참조 픽처 버퍼(190)에 저장될 수 있다.
- [0066] 도 2는 본 발명이 적용되는 복호화 장치의 일 실시예에 따른 구성을 나타내는 블록도이다.
- [0067] 복호화 장치(200)는 비디오 복호화 장치 또는 영상 복호화 장치일 수 있다.
- [0068] 도 2를 참조하면, 복호화 장치(200)는 엔트로피 복호화부(210), 역양자화부(220), 역변환부(230), 인트라 예측부(240), 움직임 보상부(250), 가산기(255), 필터부(260) 및 참조 픽처 버퍼(270)를 포함할 수 있다.
- [0069] 복호화 장치(200)는 부호화 장치(100)에서 출력된 비트스트림을 수신할 수 있다. 복호화 장치(200)는 비트스트림에 대하여 인트라 모드 또는 인터 모드로 복호화를 수행할 수 있다. 또한, 복호화 장치(200)는 복호화를 통해 복원 영상을 생성할 수 있고, 복원 영상을 출력할 수 있다.
- [0070] 복호화에 사용되는 예측 모드가 인트라 모드인 경우 스위치가 인트라로 전환될 수 있다. 복호화에 사용되는 예측 모드가 인터 모드인 경우 스위치가 인터로 전환될 수 있다.
- [0071] 복호화 장치(200)는 입력된 비트스트림으로부터 복원된 잔여 블록(reconstructed residual block)을 획득할 수 있고, 예측 블록을 생성할 수 있다. 복원된 잔여 블록 및 예측 블록이 획득되면, 복호화 장치(200)는 복원된 잔여 블록과 및 예측 블록을 더함으로써 복호화 대상 블록인 복원 블록을 생성할 수 있다. 복호화 대상 블록은 현재 블록으로 칭해질 수 있다.
- [0072] 엔트로피 복호화부(210)는 비트스트림에 대한 확률 분포에 따른 엔트로피 복호화를 수행함으로써 심볼들을 생성할 수 있다. 생성된 심볼들은 양자화된 변환 계수 레벨(transform coefficient level) 형태의 심볼을 포함할 수 있다. 여기에서, 엔트로피 복호화 방법은 상술된 엔트로피 부호화 방법과 유사할 수 있다. 예를 들면, 엔트로피 복호화 방법은 상술된 엔트로피 부호화 방법의 역과정일 수 있다.
- [0073] 엔트로피 복호화부(210)는 변환 계수 레벨을 복호화하기 위해 변환 계수 스캐닝(Transform Coefficient Scanning) 방법을 통해 1차원의 벡터 형태 계수를 2차원의 블록 형태로 변경할 수 있다. 예를 들어, 업라이트(up right) 스캐닝을 이용하여 블록의 계수를 스캔함으로써 2차원 블록 형태로 변경시킬 수 있다. 변환 유닛의 크기 및 화면 내 예측 모드에 따라 업라이트 스캔 대신 수직 스캔, 수평 스캔이 사용될 수도 있다. 즉, 변환 유닛의 크기 및 화면 내 예측 모드에 따라 업라이트 스캔, 수직 방향 스캔 및 수평 방향 스캔 중 어떠한 스캔 방법이 사용될지 여부를 결정할 수 있다.
- [0074] 양자화된 변환 계수 레벨은 역양자화부(220)에서 역양자화될 수 있고, 역변환부(230)에서 역변환될 수 있다. 양자화된 변환 계수 레벨이 역양자화 및 역변환된 결과로서, 복원된 잔여 블록이 생성될 수 있다. 이때, 역양자화부(220)는 양자화된 변환 계수 레벨에 양자화 행렬을 적용할 수 있다.
- [0075] 인트라 모드가 사용되는 경우, 인트라 예측부(240)는 복호화 대상 블록 주변의 이미 복호화된 블록의 픽셀 값을 이용하는 공간적 예측을 수행함으로써 예측 블록을 생성할 수 있다.
- [0076] 인터 모드가 사용되는 경우, 움직임 보상부(250)는 움직임 벡터 및 참조 픽처 버퍼(270)에 저장되어 있는 참조 영상을 이용하는 움직임 보상을 수행함으로써 예측 블록을 생성할 수 있다. 상기 움직임 보상부(250)는 움직임 벡터의 값이 정수 값을 가지지 않을 경우에 참조 영상 내의 일부 영역에 대해 보간 필터(Interpolation Filter)를 적용하여 예측 블록을 생성할 수 있다. 움직임 보상을 수행하기 위해 부호화 유닛을 기준으로 해당 부호화 유닛에 포함된 예측 유닛의 움직임 보상 방법이 스킵 모드(Skip Mode), 머지 모드(Merge Mode), AMVP 모드(AMVP Mode) 중 어떠한 방법인지 여부를 판단할 수 있고, 각 모드에 따라 움직임 보상을 수행할 수 있다.
- [0077] 복원된 잔여 블록 및 예측 블록은 가산기(255)를 통해 더해질 수 있다. 복원된 잔여 블록 및 예측 블록이 더해짐에 따라 생성된 블록은 필터부(260)를 거칠 수 있다. 필터부(260)는 디블록킹 필터, 샘플 적응적 오프셋 및 적응적 루프 필터 중 적어도 하나 이상을 복원 블록 또는 복원 영상에 적용할 수 있다. 필터부(260)는 복원 영상을 출력할 수 있다. 복원 영상은 참조 픽처 버퍼(270)에 저장되어 인터 예측에 사용될 수 있다.
- [0078] 복호화 장치 및 부호화 장치에서 처리되는 위상 신호에 관한 용어들은 아래와 같이 정의될 수 있다.
- [0079] 원 신호: 위상 신호의 부호화 및 복호화 방법에 있어서, 부호화 대상이 되는 입력 신호로 위상 신호에 대한 영상을 의미한다.

- [0080] 차분 신호: 차분 신호는 원 신호 및 예측 신호 간의 차이(difference)를 의미할 수 있다. 또는, 차분 신호는 원 신호 및 예측 신호 간의 차이를 변환(transform) 함으로써 생성된 신호일 수 있다. 또는, 차분 신호는 원 신호 및 예측 신호 간의 차이를 변환 및 양자화함으로써 생성된 신호일 수 있다. 차분 블록은 블록 단위의 차분 신호일 수 있다.
- [0081] 1차 복원신호: 도 1의 역변환부(170)에서 나온 복호화된 차분 신호와 예측 신호가 가산기(175)를 거쳐 생성된 복원 신호를 의미를 의미할 수 있다. 또는, 도 2의 역변환부(230)에서 나온 복호화된 차분 신호와 예측 신호가 가산기(255)를 거쳐 생성된 신호를 의미할 수 있다.
- [0082] 2차 복원신호: 도 1의 필터부(180)를 거친 최종 복원신호 또는 참조 픽처 버퍼(190)에 저장되는 복원신호를 의미할 수 있다. 또는, 도 2의 필터부(260)를 거친 최종 복원 신호 또는 참조 픽처 버퍼(270)에 저장되는 복원신호를 의미할 수 있다.
- [0083] IBDI (Internal Bit-Depth Increase): 비디오 코덱에서 고성능의 코딩 효율과 낮은 처리 복잡도를 제공하기 위한 기술로, 입력 신호의 비트 단위 내부 연산을 더 높은 비트 단위로 증가하여 라운딩 에러를 줄임으로써 정확도를 높여 코딩 효율을 높이는 기술이다. IBDI 기술은 참조 메모리를 제외한 모든 코딩 과정에 적용되고 있으며, 특히 인트라 예측, ME/MC를 위한 보간, 변환, in-loop 필터링과 같은 부동 소수점 연산에 적용됨으로써 라운딩 에러를 줄이고 정밀도를 높임으로써 코딩 효율을 높일 수 있게 된다.
- [0084] 메모리 압축 기술: IBDI 적용에 따른 참조 메모리 크기 및 메모리 대역폭 증가를 줄이거나 8비트 연산일지라도 ME(motion estimation), MC(motion compensation)과정에서 발생하는 메모리 대역폭을 줄이기 위해 고안된 기술이다.
- [0085] N (BitDepth): 본 발명은, 위상 신호의 부호화 및 복호화 방법에 있어서, 부호화 대상이 되는 원 신호의 비트 깊이(BitDepth)를 n 으로 표기한다. 비디오 압축 과정에서 IBDI 기술이 적용되는 경우, IBDI 적용에 따른 비트 깊이를 n 으로 한다.
- [0086] 원 신호의 범위: 원 신호 값의 범위는 0이상 2^n-1 이하의 값을 가진다.
- [0087] 차분 신호의 범위: 차분 신호 값의 범위는 -2^n 초과 2^n 미만의 값을 가진다.
- [0088] 위상 신호를 이용하는 홀로그래피 및 홀로그램 영상에 관한 용어들은 아래와 같이 정의될 수 있다.
- [0089] 홀로그래피(holography)는 빛의 진폭과 위상 정보를 다루는 기존의 스테레오 방식의 초점-수렴거리 불일치(vergence-accommodation conflict)문제를 해결함으로써 완전한 3차원 영상을 재현하는 기술이다. 홀로그래피는 피사체에서 반사된 물체광과 참조광 서로간의 간섭으로 인해 생성된 간섭무늬를 기록하여 홀로그램을 획득하고, 획득한 홀로그램에 참조광을 비추어 입체 공간상에 3차원 영상을 재현하는 기술이다.
- [0090] 디지털 홀로그래피 기술은 홀로그래피 원리를 이용하여 전하 결합 소자(CCD, Charge Coupled Device) 카메라와 같은 영상 획득 장치로 3차원 영상 데이터를 획득하고 공간 광 변조기(SLM, Spatial Light Modulator)와 같은 디스플레이 소자로 홀로그램 영상을 재현하는 것을 말한다. CCD 등의 카메라에서 획득되거나 수치적 방법에 의해 생성된 간섭패턴을 디지털 홀로그램으로 지칭할 수 있다.
- [0091] SLM은 광범위하게는 위치에 따라 빛을 변조시키는 모든 종류의 장치를 의미한다. 빔 프로젝터와 그림자를 이용한 새도우 아트 또한 공간 광 변조를 활용한 사례라 볼 수 있다.
- [0092] 홀로그램 영상을 획득하는 기술은 실제 물체의 3차원 정보를 획득하는 방법과 컴퓨터 그래픽으로부터 영상을 획득하는 방법으로 구분될 수 있다.
- [0093] 실제 물체를 직접적으로 획득할 수 있는 기술로는 대표적으로 자가 간섭계(Self-interference) 기술과 광 스캐닝 홀로그래피(Optical Scanning Holography), 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH, Computer Generated Hologram)이 있다.
- [0094] 컴퓨터 생성 홀로그래피(CGH, Computer Generated Holography)는 광파의 진행을 수치적으로 시뮬레이션하여 홀로그램 영상을 합성하는 연구분야이다. 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH, Computer Generated Hologram)은 광파의 진행을 수치적으로 시뮬레이션하여 얻은 홀로그램 영상이다.
- [0095] 광학적 복원(Optically Reconstruction)은 홀로그램 신호를 공간 광 변조기와 같은 디스플레이 소자로 영상을

재현하는 것을 의미한다.

- [0096] 수치적 복원(NR, Numerically Reconstruction)은 홀로그램 신호를 수치적으로 복원하여 영상을 재현하는 과정을 의미한다. 수치적 복원 방법으로는 입력 홀로그램 신호를 전파거리만큼 전파하는 각도 스펙트럼 기반 방법(ASM; Angular Spectrum Method), 프레넬 기반 방법(Fresnel Diffraction), 프라운호퍼 기반 방법(Fraunhofer Diffraction) 등이 있다. ASM은 가장 일반적인 형태의 전파 방법이며, 프레넬과 프라운호퍼 방법은 ASM을 근사한 방법이다.
- [0097] 기준 신호(X, Reference Signal): 디지털 홀로그램의 위상 신호 왜곡 측정 방법에 있어서, 홀로그램의 원본 위상 신호를 의미한다.
- [0098] 대상 신호(Y, Target Signal): 디지털 홀로그램의 위상 신호 왜곡 측정 방법에 있어서, 손실압축 등의 이유로 원본 신호가 변형된 영상을 의미한다.
- [0099] 거리(difference): 위상 화소 또는 영상 간의 거리 또는 차이를 의미하며, 신호 간 왜곡(distortion)를 의미할 수 있다.
- [0100] 홀로그램 신호에 수치적 복원을 적용하는 방법은 아래에 설명하는 바와 같을 수 있다.
- [0101] 도 3은 원본 신호를 목표 신호로 전파하는 방법에 대한 모델링의 일 실시예를 도시한 도면이다.
- [0102] 도 3을 참조하면, 수치적 복원은, 원본 신호를 전파 방향 z 를 따라 전파 거리 d 만큼 떨어진 곳으로 전파하는 방법일 수 있다.
- [0103] $g(z_0)$ 는 공간 도메인에서 전파 방향 z 에서 z_0 에 위치한 원본 신호를 의미할 수 있다. $G(z_0)$ 는 공간 도메인에 존재하는 $g(z_0)$ 를 푸리에 변환 연산 F 를 통해 주파수 도메인으로 변환한 결과와 같을 수 있다.
- [0104] $h(d)$ 는 공간 도메인에서 $g(z_0)$ 를 d 만큼 전파하기 위한 전파 커널(Propagation kernel)을 의미할 수 있다. $H(d)$ 는 주파수 도메인에서 $G(z_0)$ 를 d 만큼 전파하기 위한 전달 함수(Transfer function)를 의미할 수 있으며, 공간 도메인에 존재하는 $h(d)$ 를 F 를 통해 주파수 도메인으로 변환한 결과와 같을 수 있다.
- [0105] $g(z_0+d)$ 는 공간 도메인에서 전파 방향 z 에서 z_0+d 에 위치한 목표 신호를 의미할 수 있으며, $g(z_0)$ 를 d 만큼 전파한 결과를 나타낼 수 있다. 공간 도메인에서 $g(z_0+d)$ 는 $g(z_0)$ 와 $h(d)$ 의 $*$, 컨볼루션(Convolution) 연산을 통해 계산되어질 수 있다.
- [0106] $G(z_0+d)$ 는 주파수 도메인에서 전파 방향 z 에서 z_0+d 에 위치한 목표 신호를 의미할 수 있으며, $G(z_0)$ 를 d 만큼 전파한 결과를 나타낼 수 있다. 주파수 도메인에서 $G(z_0+d)$ 는 $G(z_0)$ 와 $H(d)$ 의 $\cdot$, 곱(Multiplication) 연산을 통해 계산되어질 수 있다. 또한, $G(z_0+d)$ 는 $g(z_0+d)$ 를 F 를 통해 주파수 도메인으로 변환한 결과와 같을 수 있다.
- [0107] 복소 홀로그램 (Full-complex Hologram): 홀로그램은 복소 신호의 일종으로 진폭(amplitude)과 위상(phase)의 조합 혹은 실수(real)와 허수(imaginary)의 조합으로 표현될 수 있다.
- [0108] 위상 홀로그램(Phase-only Hologram): 홀로그램에서 복소 신호는 진폭(amplitude)과 위상(phase)으로 표현될 수 있다. 위상 홀로그램은 복소 데이터에서 오직 위상 정보만으로 구성된 홀로그램을 뜻한다.
- [0109] 광학적 복원(Optically Reconstruction): 홀로그램 신호를 공간 광 변조기와 같은 디스플레이 소자로 영상을 재현하는 것을 의미한다.
- [0110] 수치적 복원(NR, Numerically Reconstruction): 홀로그램 신호를 수치적으로 복원하여 영상을 재현하는 과정을 의미한다.
- [0111] 이에, 본 개시는 홀로그램의 위상 신호 간의 왜곡 또는 유사도를 계산하는 방법에 관한 것이다.
- [0112] 위상 신호는 아래와 같은 방식으로 표현될 수 있다.
- [0113] 위상 신호는 연속 신호 형태로 표현될 수 있다. 위상 신호는 주기성을 가진다. 따라서, 위상 신호의 범위는 2π 를 사용하여 표현될 수 있다. 연속 신호의 범위는 주기 2π 를 사용하여 $[0, 2\pi]$ 로 표현할 수 있다. 이 때, 0 과 2π 는 같은 값으로 범위에 둘 중 하나만을 포함할 수도 있다. 예를 들어, 연속 신호의 범위는 $[0, 2\pi)$ 또는

$(0, 2\pi]$ 로 표현될 수 있다.

[0114] 본 개시에서는, 표현의 편의성을 위해 연속 주기 신호의 범위는 $[0, 2\pi]$ 로 표현될 수 있다.

[0115] 또한, 연속 신호 간의 차분 신호의 범위는 주기 2π 를 이용하여 $[-2\pi, 2\pi]$ 로 표현될 수 있다.

[0116] 위상 신호는 이산 신호 형태로 표현될 수 있다.

[0117] 위상 신호의 범위 $[0, 2\pi]$ 는 bit Depth, n 에 따라 $[0, 2^n]$ 과 같이 이산 신호 형태로 표현될 수 있다. 연속 신호 표현과 마찬가지로 주기성을 고려하면, 이산 신호의 범위에서 0과 2^n 은 같은 값을 가질 수 있다. 따라서, 이산 신호의 신호 범위는 0과 2^n 중에서, 하나의 값만 포함하는 범위로도 표현될 수 있다. 예를 들어, 이산 신호의 범위는 $[0, 2^n-1]$ 또는 $[1, 2^n]$ 으로 표현될 수 있다.

[0118] 본 개시에서는, 이산 신호의 범위를 bit Depth n 만으로 모든 신호를 표현할 수 있는 $[0, 2^n-1]$ 로 표현할 수 있다.

[0119] 연속 신호 간의 차분 신호의 범위인 $[-2\pi, 2\pi]$ 의 범위는, bit Depth, n 에 따라 이산 신호 형태인 $[-2^n, 2^n]$ 으로 표현된다. 여기서, $-2^n, 2^n, 0$ 은 모두 같은 값을 의미할 수 있다. 따라서, 신호 범위는 $-2^n, 2^n, 0$ 중에서, 하나 또는 두 개를 포함하도록 표현될 수 있다. 예를 들어, 연속 신호의 범위는 $[-2^n, (2^n-1)]$ 또는 $[(-2^n-1), 2^n]$ 으로 표현될 수 있다. 또는, 신호 범위는 앞서 설명한 방식 이외의 다른 형태로 표현될 수 있다.

[0120] 또한, 위상 신호는 주기성을 가진다. 본 개시에서는 주기적으로 반복되는 위상 신호를 표현하기 위해서, 랩 어라운드(wrap around) 연산을 적용하여, 위상 신호의 범위 값을 유한한 값으로 표현할 수 있다. 예를 들어, 위상 신호의 범위를 $[0, 2\pi]$ 형태로 표현한 경우, 2π 를 초과하는 값을 가지는 위상 신호는 다음과 같이 모듈러 연산이 수행된 신호 값으로 표현된다.

수학식 1

[0121] $\text{OutPhaseValue} = (\text{InputPhaseValue}) \% 2\pi$

[0122] 또는, 위상 신호는 위상 순환 이동 방식을 적용하여 표현될 수 있다. 위상 순환 이동(Circular shifting)은 위상 신호의 주기성을 고려하여, 위상 신호에 전역 오프셋(Global Offset)을 더해주는 과정을 의미할 수 있다. 전역 오프셋은 시간과 공간에 관계없이 일정한 실수 범위의 상수를 의미한다. 위상 순환 이동은 아래와 같이 연산될 수 있다.

수학식 2

$\text{OutPhase}(m, n) = (\text{InputPhase}(m, n) + \text{GlobalOffset}) \% 2\pi$

[0123] $e^{\text{OutPhase}(m, n)} = e^{\text{InputPhase}(m, n)} \cdot e^{\text{GlobalOffset}}$

[0124] 여기서, (m, n) 은 위상 신호의 공간적 위치 좌표를 의미할 수 있다. 위 수학식에 따르면, 순환 이동된 위상 신호(OutPhase)는 $[0, 2\pi]$ 으로 표현되는 위상 신호(InputPhase)에 전역 오프셋을 더하고 모듈러 연산을 취하여 산출될 수 있다.

[0125] 위상 신호 간의 이미지 왜곡 또는 유사도를 측정 및 계산하는 방법은 아래에 설명하는 바와 같을 수 있다.

[0126] MSE(Mean Squared Error)는 기준 신호의 평균 값과 대상 신호의 평균 값 간의 차이를 제공한 값을 의미할 수 있다. MSE는 아래의 수학적식과 같이 정의될 수 있다.

수학식 3

$$MSE(X, Y) = \frac{1}{|\Omega|} \sum_{m, n \in \Omega} (X(m, n) - Y(m, n))^2$$

[0127]

[0128] 여기서, (m,n)은 이미지의 공간적 위치 좌표를 의미하고, Ω 는 이미지의 모든 화소 좌표를 의미할 수 있다.

[0129] PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)는 신호의 최대 전력에 대비한 잡음의 전력을 나타내는 값일 수 있다. PSNR은 원본 신호와 대상 신호 간의 화질 손실 정보를 평가하고, 거리 기반의 왜곡을 측정하기 위해 사용될 수 있다. PSNR은 아래의 수학적식과 같이 정의될 수 있다.

수학식 4

$$PSNR(X, Y) = 10 \log_{10} \frac{MAX^2}{MSE(X, Y)}$$

[0130]

[0131] 여기서, MAX는 신호의 최대 전력 값을 의미할 수 있다.

[0132] SSIM(Structural Similarity Index Measure)는 PSNR과 같이 변형된 대상 신호의 화질 손실 양을 평가하기 위해 사용될 수 있다. 거리 기반의 PSNR과는 달리, SSIM은 원본 신호와 대상 신호 간의 구조적인 유사도를 기초로 신호의 왜곡 정도를 측정하기 위해 사용될 수 있다. SSIM은 휘도(Luminance), 대비(Contrast), 구조(Structure) 세 가지 요소를 이용하여 원본 신호와 대상 신호 간의 구조적인 유사도를 측정하기 위해 사용될 수 있다. SSIM은 아래의 수학적식과 같이 정의될 수 있다.

수학식 5

$$SSIM(X, Y) = \frac{2\mu_X\mu_Y + c_1}{\mu_X^2 + \mu_Y^2 + c_1} \cdot \frac{2\sigma_X\sigma_Y + c_2}{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + c_2} \cdot \frac{\sigma_{XY} + \frac{c_2}{2}}{\sigma_X\sigma_Y + \frac{c_2}{2}}$$

$$\text{Where, } C_1 = (K_1L)^2, C_2 = (K_2L)^2$$

$$\mu_I(m, n) = \frac{1}{|\Omega_w|} \sum_{i, j \in \Omega_w} I(m+i, n+j), I \in \{X, Y\}$$

$$\sigma_I^2(m, n) = \frac{1}{|\Omega_w| - 1} \sum_{i, j \in \Omega_w} (I(m+i, n+j) - \mu_I(m, n))^2$$

$$\sigma_{XY}(m, n) = \frac{1}{|\Omega_w| - 1} \sum_{i, j \in \Omega_w} [X(m+i, n+j) - \mu_X(m, n)] \times [Y(m+i, n+j) - \mu_Y(m, n)]$$

[0133]

[0134] 여기서, I는 기준 신호 또는 대상 신호를 의미할 수 있다. Ω_w 는 이미지의 특정 국소 지역(local window)에 대한 모든 화소 좌표를 의미할 수 있다.

[0135] 위상 홀로그램의 신호 간 거리를 계산하는 방법은 아래에 설명하는 바와 같을 수 있다.

[0136] 도 4는 일반 영상 신호와 위상 영상 신호의 거리 또는 왜곡을 도시한 도면이다.

[0137] 도 4를 참조하면, 위상 신호는 자연 신호와 다른 특성을 가진다. 따라서, 자연 영상의 신호 간 거리(또는 왜곡)를 계산 방법을 위상 신호에 적용할 경우, 거리 계산 성능이 저하될 수 있다.

[0138] 도 4에 도시된 바에 따르면, 자연 신호(common image)의 값이 각각 50, 250인 경우, 자연 신호 간 거리 값은 250으로 계산될 수 있다. 반면, 위상 신호(phase image)의 값이 각각 50, 250이고, 위상 이미지의 주기가 256인 경우, 위상 신호 간 거리 값은 250이 아닌, 56으로 계산될 수 있다.

[0139] SCD(Shortest Circular Distortion, $\tilde{d}$)는 종래에 제안된 위상 신호의 주기성을 고려하여 위상 신호 간 거리를 계산하는 방법이다. 서로 다른 위상 신호의 화소 값 사이의 거리는 주기성으로 인해 반 주기보다 큰 값 및 반 주기보다 작은 값, 총 두 가지로 계산될 수 있다. SCD는 계산될 수 있는 두 가지 거리 값 중 항상 작은 값을 선택하는 알고리즘이다. 위상 신호에 대한 SCD는 다음과 수학적식과 같이 표현될 수 있다.

수학적식 6

$$\tilde{d}(x, y) = (d + \pi) \% 2\pi - \pi$$

[0140] $\tilde{D}(m, n) = \tilde{d}(X(m, n), Y(m, n))$

[0141] 여기서, $\tilde{d}$ 는 SCD 방식으로 계산된 두 위상 화소 사이의 거리 값을 의미한다. 그리고, $\tilde{D}$ 는 SCD를 이용하여 계산된 두 위상 이미지 사이의 왜곡(또는 거리) 이미지를 의미한다.

[0142] SCD를 이용하면 두 위상 신호 간 원주상의 거리를 측정할 수 있다.

[0143] 그리고, 위상 홀로그램의 거리 계산 방식은 기존의 거리 계산 방식과 달리, SCD를 이용할 수 있다. 예를 들어, 위상 홀로그램의 거리는 C-MSE(Circular MSE) 및 C-PSNR(Circular-PSNR)를 이용하여 산출될 수 있다. C-MSE 및 C-PSNR는 아래의 수학적식과 같이 정의될 수 있다.

수학적식 7

[0144] $C-MSE(X, Y) = E[\tilde{D}^2]$

수학적식 8

[0145] $C-PSNR(X, Y) = 10 \log_{10} \frac{MAX_I^2}{C-MSE(X, Y)}$

[0146] 왜곡 또는 유사도 계산 기술의 성능은 도출된 화질 평가 값과 주관적 화질 평가 값과의 유사도에 의해 평가되었다. PLCC(Pearson Linear Correlation Coefficient) 및 SROCC(Spearman Rank Order Correlation Coefficient)는 대표적으로 사용되는 화질 평가 값과 주관적 화질 평가 값 사이의 유사도 평가 방법이다. PLCC 및 SROCC는 아래에 설명하는 바와 같이 정의될 수 있다.

수학적식 9

[0147] $PLCC = \frac{\sum_{m=1}^N (p_i - \bar{p})(s_i - \bar{s})}{\sqrt{\sum_{m=1}^N (p_i - \bar{p})^2 (s_i - \bar{s})^2}}$

수학식 10

$$SROCC = 1 - \frac{6 \sum_{n=1}^N d_i^2}{N(N^2 - 1)},$$

홀로그램은 홀로그램 자체의 화질보다 복원된 영상의 화질이 더 중요하다. 따라서 홀로그램 도메인에서의 왜곡 또는 유사도 값은 복원 도메인에서의 왜곡 또는 유사도 값과 유사해야 한다.

본 개시에서는, 위상 왜곡 측정 기술의 성능을 평가하기 위해, 복원 도메인에서 계산된 왜곡 또는 유사도 값과의 주관적 화질 평가 값과의 유사도를 사용할 수 있다.

이에, 본 개시에 따르면, 홀로그램의 위상 신호의 특성으로 주기성뿐만 아니라 이동 불변성(Shift-invariance)을 정의할 수 있다.

이동 불변성(Shift-invariance)은 홀로그램 위상 신호(θ)에 적용된 전역 오프셋(ϕ)과 무관하게, 수치적 복원 도메인에 영향을 주지 않는 성질을 의미한다.

복소 홀로그램에 대한 이동 불변성은 아래의 표와 같이 증명될 수 있다.

표 1

Shift-invariance.	
<i>Assume</i> $\begin{aligned} g(m,n) &= A(m,n)e^{i\theta(m,n)} \\ g'(m,n) &= A(m,n)e^{i(\theta(m,n)+\phi)} \\ I &= ASM(g(m,n)) \\ I' &= ASM(g'(m,n)) \end{aligned}$ • g: Complex hologram • g': shifted complex hologram • ϕ: global offset • I: NR of g • I': NR of g' <i>Then, $I = I'$</i>	
Proof.	Let G is $\mathcal{F}(g)$, and G' is $\mathcal{F}(g')$, then $G'(p,q) = \mathcal{F}(e^{i\phi}g(m,n)) = e^{i\phi}G(p,q)$ Since $I = ASM(g(m,n)) = \mathcal{F}^{-1}(G(p,q) \times H(p,q;d))$, $\begin{aligned} I' &= ASM(g'(m,n)) = \mathcal{F}^{-1}(G'(p,q) \times H(p,q;d)) \\ &= \mathcal{F}^{-1}(e^{i\phi}G(p,q) \times H(p,q;d)) \\ &= e^{i\phi} \cdot \mathcal{F}^{-1}(G(p,q) \times H(p,q;d)) \\ &= e^{i\phi} I = I \end{aligned}$

여기서, g 는 복소 홀로그램, g' 는 복소 홀로그램의 위상 신호가 전역 오프셋(ϕ)으로 순환 이동된 복소 홀로그램을 의미한다. I 는 복소 홀로그램(g)의 수치적 복원 영상, I' 은 순환 이동된 복소 홀로그램(g')의 수치적 복원 영상을 의미한다.

종래에는 위상 왜곡 또는 유사도를 계산함에 있어, 이동 불변성을 고려하지 않았다. 따라서, 계산된 위상 왜곡 또는 유사도는 복원 도메인에서 계산된 왜곡 또는 유사도 값과의 유사도가 높지 않았다.

본 개시에 따르면, 이동 불변성을 고려하여 위상 왜곡 또는 유사도를 계산할 수 있다. 따라서, 본 개시에 따른 위상 왜곡 또는 유사도 계산 방법은 위상 왜곡 또는 유사도 계산 값의 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

본 개시에서 활용되는 홀로그램의 위상 신호 간의 왜곡 및 유사도를 산출하는 방법은 도 5 내지 도 10에 도시된 예시를 활용하여 설명한다.

도 5는 위상 홀로그램 신호에 분포 순환 이동을 적용한 일 실시예를 도시한 도면이다.

도 5의 (1)을 참조하면, 위상 홀로그램 신호는 이동 불변성에 의하여, 원주상의 어떤 위치로 순환 이동되더라도 동일한 복원 영상으로 복원될 수 있다.

- [0161] 위상 왜곡 측정 방식에 이동 불변성을 적용하기 위해서, 본 개시에 따르면, 도 5의 (2)와 같이 원주상에서 기준 신호와 대상 신호 간의 거리가 가까워지도록 기준 신호와 대상 신호 중 적어도 하나 이상의 신호를 순환 이동하고, 신호들 간의 위상 왜곡 또는 유사도를 계산하는 방식을 제안할 수 있다.
- [0162] 분포 순환 이동(DS, Distribution Shifting)은 원주상에서 기준 신호와 대상 신호 간의 거리가 가까워지도록 하는 특정 전역 오프셋으로 기준 신호와 대상 신호 중 적어도 하나 이상의 신호를 순환 이동하는 방식을 의미한다.
- [0163] 신호를 분포 순환 이동하여도, 신호의 원주상의 위치만 변형될 뿐, 신호의 원주상에서 분포의 모양은 유지된다.
- [0164] 위와 같은 분포 순환 이동 방식을 적용하여 위상 신호 간의 왜곡 및/또는 유사도를 계산하는 장치 및 방법은 아래에 설명하는 바와 같을 수 있다.
- [0166] 도 6은 본 개시의 일 실시예에 따른 홀로그램의 위상 신호 간의 왜곡 또는 유사도를 계산하는 방법 및 장치의 일 실시예를 도시한 도면이다.
- [0167] 도 6을 참조하면, 입력 홀로그램의 위상 신호 간 왜곡 및/또는 유사도를 산출하는 장치는 기준 신호와 대상 신호 중 적어도 하나를 분포 순환 이동하는 분포 순환 이동 수단, 분포 순환 이동된 기준 신호와 대상 신호 간의 왜곡 또는 유사도를 구하는 왜곡 또는 유사도 계산 수단 및 왜곡 또는 유사도 값에 대해 값의 범위가 수치적 복원 도메인의 왜곡 또는 유사도 값의 범위와 유사하도록 하는 변환 수단을 포함할 수 있다.
- [0168] 여기서, 분포 순환 이동 수단은 신호의 평균 값으로 분포 순환 이동하는 방법, 신호 간의 SCD 평균값으로 분포 순환 이동하는 방법, 특정 조건을 만족할 때, 반주기 분포 순환 이동하는 방법, 임의의 후보 값들 중 하나로 분포 순환 이동하는 방법을 적용할 수 있다.
- [0169] 여기서, 왜곡 또는 유사도 계산 수단은 이미지 도메인에서 사용되는 왜곡 또는 유사도 계산 방법, SCD기반의 왜곡 또는 유사도 계산 방법, 복소 도메인에서 왜곡 또는 유사도를 계산하는 방법을 적용할 수 있다.
- [0170] 여기서, 변환 수단은 왜곡 또는 유사도 값을 선형 변환하는 방법을 적용할 수 있다.
- [0171] 위상 신호 간 왜곡 및/또는 유사도를 산출하는 장치의 구성 요소들 각각은 아래에 설명하는 바와 같이 동작할 수 있다.
- [0172] 여기서, 위상 신호 간 왜곡 및/또는 유사도를 산출하는 장치의 분포 순환 이동 수단은 아래에 설명하는 실시예들에 따라, 입력 신호에 분포 순환 이동을 적용할 수 있다.
- [0173] 본 개시에 따르면, 분포 순환 이동 수단은 원주상에서 두 신호 간의 거리가 가까워지도록 하는 분포 순환 이동 알고리즘을 수행할 수 있다. 따라서, 분포 순환 이동 알고리즘을 적용한 결과, 기준 신호와 대상 신호 사이의 왜곡 또는 유사도가 계산될 수 있다. 분포 순환 이동 시 적용되는 전역 오프셋은 위상 신호 범위([0, 2 π]) 내의 모든 값 중 하나의 값일 수 있다. 본 개시의 일 실시예에 따른, 분포 순환 이동 알고리즘은 아래에 설명하는 바와 같을 수 있다.
- [0174] 분포 순환 이동 수단은 분포 순환 이동된 두 신호의 평균이 비슷한 값을 갖도록 기준 신호와 대상 신호 중 적어도 하나에 분포 순환 이동을 적용할 수 있다.
- [0175] 본 개시의 일 실시예에 따르면, 각각의 신호들은 신호들의 평균 값만큼 분포 순환 이동될 수 있다.

수학식 11

$$\hat{X}(m,n) = (X(m,n) - E[X])\%2\pi$$

[0176]
$$\hat{Y}(m,n) = (Y(m,n) - E[Y])\%2\pi$$

[0177] 여기서, $\hat{X}$ 은 분포 순환 이동된 기준 신호, $\hat{Y}$ 은 분포 순환 이동된 대상 신호를 의미한다.

[0178] 본 개시의 다른 실시예에 따르면, 각각의 신호들은 신호들의 차이 값의 평균 값만큼 분포 순환 이동될 수 있다.

수학식 12

$$\hat{X}(m, n) = X(m, n)$$

$$\hat{Y}(m, n) = (Y(m, n) - E[D]) \% 2\pi$$

$$D(m, n) = X(m, n) - Y(m, n)$$

[0179]

[0180]

앞서 설명한 바와 같이 신호들의 평균 값을 기초로 신호들에 분포 순환 이동을 적용하는 방법은 아래에 설명하는 바와 같을 수 있다.

[0181]

도 7은 위상 홀로그램 신호에 분포 순환 이동을 적용한 일 실시예를 도시한 도면이다.

[0182]

구체적으로, 도 7은 대상 신호가 기준 신호로부터 0.75π 만큼 순환 이동된 경우의 예시를 도시한다. 여기서, 두 신호의 수치적 복원 결과는 같을 수 있다. 즉, 수치적 복원 도메인에서의 왜곡은 0이다.

[0183]

X는 신호의 평균이 0이고, 신호의 값이 $[-\pi/4, \pi/4]$ 내에 분포한 경우를 가정한다.

[0184]

서로 다른 신호들 각각이 두 신호 간 차이의 평균 값만큼 분포 순환 이동하는 경우, 기준 신호와 분포 순환 이동된 대상 신호는 동일할 수 있다. 그리고, 두 위상 신호 간의 왜곡은 수치적 복원 도메인에서의 왜곡 값과 같이 0으로 산출될 수 있다.

[0186]

또는, 본 개시에 따르면, 분포 순환 이동 수단은 원주상에서 두 신호 간의 거리가 가까워지도록 하는 분포 순환 이동 알고리즘을 수행할 수 있다. 따라서, 분포 순환 이동 알고리즘을 적용한 결과, 기준 신호와 대상 신호 사이의 왜곡 또는 유사도가 계산될 수 있다. 분포 순환 이동 시 적용되는 전역 오프셋은 위상 신호 범위 $([0, 2\pi])$ 내의 모든 값 중 하나의 값일 수 있다. 본 개시의 일 실시예에 따른, 분포 순환 이동 알고리즘은 아래에 설명하는 바와 같을 수 있다.

[0187]

앞서 설명한 실시예와 같이, 서로 다른 위상 신호의 평균값 만큼 분포 순환 이동을 적용하는 경우, 위상 신호의 주기성으로 인해 원주상에서 두 신호 간 거리를 가깝게 하지 못할 수 있다. 따라서, 분포 순환 이동 수단은 주기성을 고려하여 분포 순환 이동된 두 신호 간 SCD의 평균이 비슷한 값을 갖도록 기준 신호와 대상 신호 중 적어도 하나에 분포 순환 이동을 적용할 수 있다.

[0188]

예를 들어, 분포 순환 이동 수단은 위상 신호들 간의 SCD 평균 값을 기초로 분포 순환 이동을 적용할 수 있다.

수학식 13

$$\hat{X}(m, n) = X(m, n)$$

$$\hat{Y}(m, n) = (Y(m, n) - E[\tilde{D}]) \% 2\pi$$

[0189]

$$\tilde{D}(m, n) = (X(m, n) - Y(m, n) + \pi) \% 2\pi - \pi$$

[0190]

앞서 설명한 바와 같이 위상 신호들의 SCD 평균 값을 기초로, 위상 신호들에 분포 순환 이동을 적용하는 방법은 아래에 설명하는 바와 같을 수 있다.

[0191]

도 8은 위상 홀로그램 신호에 분포 순환 이동을 적용한 일 실시예를 도시한 도면이다.

[0192]

구체적으로, 도 8은 대상 신호가 원본 신호로부터 0.9π 만큼 순환 이동된 경우를 도시하는 도면이다. 여기서, 두 신호의 수치적 복원 결과는 같을 수 있다. 즉, 수치적 복원 도메인에서의 왜곡은 0이다.

[0193]

X는 신호의 평균이 0이고, 신호의 값이 $[-\pi/4, \pi/4]$ 내에 분포한 경우를 가정한다.

[0194]

도 8에 도시된 바에 따르면, 대상 신호가 기준 신호로부터 순환 이동되는 과정에서 신호의 일부 값이 랩 어라운드

드릴 수 있다. 대상 신호 및 기준 신호 간의 거리의 평균이 0에 가까워지게 된다. 따라서, 신호의 평균 값을 적용하여 분포 순환 이동을 수행할 경우, 위상 신호 간의 원주상 거리를 가깝게 하기 어렵다.

[0195] 그에 반해, 위상 신호들 간의 SCD 평균 값을 적용하여 분포 순환 이동을 수행할 경우, 기준 신호와 분포 순환 이동된 대상 신호는 같아질 수 있다. 따라서, 두 위상 신호 간의 왜곡 값은 수치적 복원 도메인에서의 왜곡 값과 같이 0으로 계산될 수 있다.

[0197] 또는, 본 개시에 따르면, 분포 순환 이동 수단은 원주상에서 두 신호 간의 거리가 가까워지도록 하는 분포 순환 이동 알고리즘을 수행할 수 있다. 따라서, 분포 순환 이동 알고리즘을 적용한 결과, 기준 신호와 대상 신호 사이의 왜곡 또는 유사도가 계산될 수 있다. 분포 순환 이동 시 적용되는 전역 오프셋은 위상 신호 범위($[0, 2\pi]$) 내의 모든 값 중 하나의 값일 수 있다. 본 개시의 일 실시예에 따른, 분포 순환 이동 알고리즘은 아래에 설명하는 바와 같을 수 있다.

[0198] 특정 상황에 해당하는 경우, 앞서 설명한 바와 같이 신호의 평균 값을 적용하여 분포 순환 이동을 수행하거나 위상 신호들 간의 SCD 평균 값을 적용하여 분포 순환 이동을 수행하여도, 원주상에서 두 신호 간의 거리가 가까워지지 않을 수 있다.

[0199] 따라서, 본 개시의 일 실시예에 따르면, 위상 신호 간의 거리가 특정 조건을 만족하는 경우, 아래에 설명하는 바와 같이 반주기 분포 순환 이동을 적용하여 두 위상 신호 간 거리를 최대한 가깝게 할 수 있다. 여기서, 반주기 순환이동을 하는 이유는 대상 신호와 원본 신호 사이의 대칭성을 유지하기 위함이다.

[0200] 본 개시의 일 실시예에 따르면, 신호 간의 SCD 절대값의 평균값이 $\pi/2$ 를 초과하는 경우, 적어도 하나의 위상 신호에 반주기 분포 순환 이동을 적용할 수 있다.

수학식 14

$$\hat{X}(m, n) = X(m, n)$$

$$\hat{Y}(m, n) = \begin{cases} Y(m, n), & E[|\tilde{D}|] < \frac{\pi}{2}, \\ (Y(m, n) + \pi) \% 2\pi, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

[0201] $\tilde{D}(m, n) = (X(m, n) - Y(m, n) + \pi) \% 2\pi - \pi$

[0202] 본 개시의 다른 실시예에 따르면, 반주기 분포 순환 이동을 했을 때의 원주상의 신호 간 거리가 기존 신호 간 거리보다 더 작은 값을 가지면, 적어도 하나의 위상 신호에 반주기 분포 순환 이동을 적용할 수 있다.

수학식 15

$$\hat{X}(m, n) = X(m, n)$$

[0203] $\hat{Y}(m, n) = \begin{cases} Y(m, n), & d(X, Y) < d(X, (Y(m, n) + \pi) \% 2\pi), \\ (Y(m, n) + \pi) \% 2\pi, & \text{otherwise.} \end{cases}$

[0204] 앞서 설명한 바와 같이, 특정 조건이 충족되는 경우에 위상 신호들에 반주기만큼 분포 순환 이동을 적용하는 방법은 아래에 설명하는 바와 같을 수 있다.

[0205] 도 9는 위상 홀로그래프 신호에 분포 순환 이동을 적용한 일 실시예를 도시한 도면이다.

[0206] 구체적으로, 도 9는 대상 신호가 원본 신호로부터 신호의 절반은 -0.6π , 나머지 절반은 0.6π 만큼 순환 이동된 경우의 예시이다.

[0207] X 는 신호의 평균이 0이고, 신호의 값이 $[-\pi/4, \pi/4]$ 내에서 분포한 경우를 가정한다.

[0208] 이와 같은 상황에서는 대상 신호 값의 크기가 모두 $\pi/2$ 보다 큰 값을 갖는다. 이 경우 대상 신호를 반주기 분포 순환 이동을 수행하여 기준 신호와의 왜곡을 측정할 수 있다.

[0210] 본 개시에 따르면, 원주 상에서 두 신호 간의 거리가 가까워지도록 하는 분포 순환 이동 알고리즘을 수행하여 기준 신호와 대상 신호 사이의 왜곡 또는 유사도를 구할 수 있다. 분포 순환 이동 시 적용되는 전역 오프셋은 위상 신호 범위 $([0, 2\pi])$ 내의 모든 값 중 하나의 값일 수 있다. 본 개시의 일 실시예에 따른, 분포 순환 이동 알고리즘은 아래에 설명하는 바와 같을 수 있다.

[0211] 전역 오프셋이 될 수 있는 임의의 후보 값들(K)이 결정될 수 있다.

[0212] 여기서, 일 실시예에 따르면, 후보 값들은 $[0, 2\pi]$ 범위를 일정한 간격으로 나눈 값들로 결정될 수 있다. 예를 들어, 0.5π 간격을 가지는 값들이 후보 값들로 결정될 수 있다. ($K = \{0, 0.5\pi, \pi\}$)

[0213] 여기서, 다른 실시예에 따르면, 후보 값들은 $[0, 2\pi]$ 범위 중 임의로 추출된 N개의 값들로 결정될 수 있다. 예를 들어, 균등한 분포로 추출된 4개의 후보 값들이 후보 값으로 결정될 수 있다. ($K = \{0.1\pi, 0.2\pi, 0.4\pi, 0.7\pi\}$)

[0214] 따라서, 기준 신호 또는 대상 신호는 앞서 설명한 후보 값들 중 하나의 값(δ)만큼 분포 순환 이동될 수 있다.

[0215] 여기서, 일 실시예에 따르면, 기준 신호 또는 대상 신호는 상기 후보 값들 중, 기준 신호와 대상 신호의 원주상의 거리를 최소로 만드는 후보 전역 오프셋만큼 분포 순환 이동될 수 있다.

수학식 16

$$\hat{X}(m, n) = X(m, n)$$

$$\hat{Y}(m, n) = (Y(m, n) + \delta) \% 2\pi,$$

$$[0216] \quad \tilde{d}(X, (Y(m, n) + \delta) \% 2\pi) \leq \tilde{d}(X, (Y(m, n) + k) \% 2\pi) \quad k \in K$$

[0217] 앞서 설명한 바와 같이 신호들에 임의의 후보 값만큼 분포 순환 이동을 적용하는 방법은 아래에 설명하는 바와 같을 수 있다.

[0218] 도 10은 위상 홀로그램 신호에 분포 순환 이동을 적용한 일 실시예를 도시한 도면이다.

[0219] 구체적으로, 도 10은 신호의 절반은 -0.6π , 나머지 절반은 0.6π 만큼 순환 이동된 경우의 예시를 도시하는 도면이다.

[0220] 도 10을 참조하면, 신호 X의 평균은 0이고, 신호 X의 값은 $[-\pi/4, \pi/4]$ 내에서 분포할 수 있다. 여기서, 전역 오프셋 후보는 임의의 값으로 선택되고, 임의로 선택된 값들 중에서, 분포 순환 이동 후, 원주상의 거리가 최소가 되는 후보 δ 를 탐색할 수 있다. 그리고, 탐색된 전역 오프셋 후보를 기초로 신호에 분포 순환 이동을 적용할 수 있다.

[0222] 여기서, 왜곡 또는 유사도 계산 수단은 아래에 설명하는 실시예들에 따라, 기준 신호와 대상 신호 간의 왜곡 또는 유사도를 산출할 수 있다.

[0223] 본 개시의 일 실시예에 따르면, 왜곡 또는 유사도 계산 수단은 분포 순환 이동 과정 후, 이미지 도메인에서 사용되던 왜곡 또는 유사도 계산 방식을 그대로 사용할 수 있다. 이미지 도메인에서 사용되는 왜곡 또는 유사도 계산 방식은 아래의 수학식에 설명하는 바와 같을 수 있다.

수학식 17

[0224] $DS-metric(X, Y) = metric(\hat{X}, \hat{Y})$

[0225] DS-metric (Distribution-Shifting metric)은 본 개시에 따른 왜곡 또는 유사도를 구하는 방법을 의미하고, metric은 이미지 도메인에서 사용되던 왜곡 또는 유사도를 구하는 방법을 의미할 수 있다.

[0226] 예를 들어, 다음 수학식과 같이 PSNR, MSE, SSIM을 사용하여 왜곡 또는 유사도를 구할 수 있다.

수학식 18

$$DS-PSNR(X, Y) = PSNR(\hat{X}, \hat{Y})$$

$$DS-MSE(X, Y) = MSE(\hat{X}, \hat{Y})$$

[0227] $DS-SSIM(X, Y) = SSIM(\hat{X}, \hat{Y})$

[0228] 다만, 앞서 설명한 실시예에 따르면, 기준 신호와 대상 신호 간의 왜곡 또는 유사도를 산출함에 있어, 신호의 주기성이 고려되지 않을 수 있다. 따라서, 앞서 설명한 실시예에 따르면, 기준 신호와 대상 신호 간의 왜곡 또는 유사도 산출 방식의 성능이 저하될 수 있다.

[0229] 본 개시의 다른 실시예에 따르면, 왜곡 또는 유사도 계산 수단은 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용한 후, SCD 기반의 주기성을 고려하여 왜곡 또는 유사도를 계산할 수 있다. SCD 기반의 주기성을 고려한 왜곡 또는 유사도 계산 방식은 아래의 수학식과 같이 정의될 수 있다.

수학식 19

[0230] $DS-metric(X, Y) = C-metric(\hat{X}, \hat{Y})$

[0231] C-metric(Circular metric)은 SCD 기반의 왜곡 또는 유사도 계산 방법을 의미한다. SCD는 아래의 수학식과 같이 정의될 수 있다.

수학식 20

$$SCD: \tilde{D}(m, n) = (X(m, n) - Y(m, n) + \pi) \% 2\pi - \pi$$

[0232] $\tilde{d}(x, y) = (x - y + \pi) \% 2\pi - \pi$

[0233] 그리고, C-metric들은 아래의 수학식과 같이 정의될 수 있다.

수학식 21

$$C-MSE(X, Y) = E[\tilde{D}^2]$$

$$C-PSNR(X, Y) = 10 \log_{10} \frac{MAX^2}{C-MSE(X, Y)}$$

$$C-SSIM(X, Y) = \frac{2\mu_X\mu_Y + c_1}{\mu_X^2 + \mu_Y^2 + c_1} \cdot \frac{2\tilde{\sigma}_X\tilde{\sigma}_Y + c_2}{\tilde{\sigma}_X^2 + \tilde{\sigma}_Y^2 + c_2} \cdot \frac{\tilde{\sigma}_{XY} + \frac{c_2}{2}}{\tilde{\sigma}_X\tilde{\sigma}_Y + \frac{c_2}{2}}$$

$$\tilde{\sigma}_I^2(m, n) = \frac{1}{|\Omega_w| - 1} \sum_{i, j \in \Omega_w} \tilde{d}(\hat{I}(m + i, n + j), \mu_I(m, n))^2,$$

$$\tilde{\sigma}_{XY}(m, n) = \frac{1}{|\Omega_w| - 1} \sum_{i, j \in \Omega_w} [\tilde{d}(\hat{X}(m + i, n + j), \mu_X(m, n))] \times [\tilde{d}(\hat{Y}(m + i, n + j), \mu_Y(m, n))].$$

[0234]

[0235] 따라서, SCD 기반의 주기성을 고려한 왜곡 또는 유사도 계산 방식을 적용한 결과, DS-metric은 아래와 같이 정의될 수 있다.

수학식 22

$$DS-PSNR(X, Y) = C-PSNR(\hat{X}, \hat{Y})$$

$$DS-MSE(X, Y) = C-MSE(\hat{X}, \hat{Y})$$

[0236]

$$DS-SSIM(X, Y) = C-SSIM(\hat{X}, \hat{Y})$$

[0237]

또한, 앞서 설명한 실시예에 따르면, 기준 신호와 대상 신호 간의 왜곡 또는 유사도를 산출함에 있어, 신호의 주기성이 고려되지 않을 수 있다. 따라서, 앞서 설명한 실시예에 따르면, 기준 신호와 대상 신호 간의 왜곡 또는 유사도 산출 방식의 성능이 저하될 수 있다.

[0238]

본 개시의 또 다른 실시예에 따르면, 왜곡 또는 유사도 계산 수단은 분포 순환 이동 과정 후, 신호를 복소 도메인으로 이동시킴으로써, 기준 신호와 대상 신호 간의 왜곡 또는 유사도를 계산하는 계산 방식을 사용할 수 있다. 복소 도메인에서의 실수(real), 허수(imaginary) 요소는 주기성을 갖지 않으므로, 위상 신호의 주기성에 의한 성능 오차를 줄일 수 있다.

[0239]

복소 도메인에서 실수부와 허수부로 나누어 왜곡 또는 유사도를 구한 후, 계산된 왜곡 또는 유사도를 병합하는 방식은 아래에 설명하는 바와 같을 수 있다.

[0240]

일 실시예에 따르면, 기준 신호와 대상 신호 간의 왜곡 또는 유사도는 아래의 수학식에 따라, 실수부와 허수부에서 계산된 왜곡 또는 유사도 값을 평균으로 병합하여 계산될 수 있다.

수학식 23

$$DS-metric(X, Y) = \frac{metric(\hat{X}_{re}, \hat{Y}_{re}) + metric(\hat{X}_{im}, \hat{Y}_{im})}{2},$$

$$\hat{X}_{re} = \cos(\hat{X}), \text{ and } \hat{X}_{im} = \sin(\hat{X})$$

$$\hat{Y}_{re} = \cos(\hat{Y}), \text{ and } \hat{Y}_{im} = \sin(\hat{Y})$$

[0241]

[0242] 다른 실시예에 따르면, 기준 신호와 대상 신호 간의 왜곡 또는 유사도는 아래의 수학식에 따라, 실수부와 허수부에서 계산된 왜곡 또는 유사도 값을 Root-mean-square(RMS)로 병합하여 계산될 수 있다.

수학식 24

[0243]

$$DS-metric(X,Y) = \sqrt{\frac{metric(\hat{X}_{re}, \hat{Y}_{re})^2 + metric(\hat{X}_{im}, \hat{Y}_{im})^2}{2}},$$

[0244] 여기서, 각각의 DS-metric은 아래의 수학식에 따라, 실수부와 허수부에 대해 PSNR, MSE, SSIM을 이용하여 왜곡 또는 유사도를 구한 후 RMS로 병합하여 계산될 수 있다.

수학식 25

$$DS-PSNR(X,Y) = 10 \log \left(\frac{MAX^2}{DS-MSE(X,Y)} \right)$$

$$DS-MSE(X,Y) = \sqrt{\frac{MSE(\hat{X}_{re}, \hat{Y}_{re})^2 + MSE(\hat{X}_{im}, \hat{Y}_{im})^2}{2}},$$

[0245]

$$DS-SSIM(X,Y) = \sqrt{\frac{SSIM(\hat{X}_{re}, \hat{Y}_{re})^2 + SSIM(\hat{X}_{im}, \hat{Y}_{im})^2}{2}}$$

[0246] 왜곡 또는 유사도 값의 변환 수단은 기준 신호 및 대상 신호 간의 왜곡 또는 유사도를 복원 도메인의 왜곡 또는 유사도 범위와 유사하게 변환할 수 있다.

[0247] 앞서 설명한 실시예에 따라 계산된 기준 신호 및 대상 신호 간의 왜곡 또는 유사도 값의 범위는 수치적 복원 도메인에서 계산된 왜곡 또는 유사도 값의 범위와 다를 수 있다. 따라서, 왜곡 또는 유사도 값의 변환 수단은 아래의 수학식에 따라, 계산된 왜곡 또는 유사도의 값을 선형 변환할 수 있다.

수학식 26

[0248]

$$DS-metric'(X,Y) = a \times DS-metric(X,Y) + b$$

[0249] 여기서, DS-metric은 상기 계산된 왜곡 또는 유사도 값, DS-metric'은 보상된 왜곡 또는 유사도 값을 의미한다. 그리고, a, b는 실수 범위의 일차 함수의 파라미터를 의미한다.

[0250] 본 개시에 따른, 분포 순환 이동 또는 분포 순환 이동에 기반한 왜곡 또는 유사도 계산 방법은 아래와 같이 확장되어, 위상 신호 처리에 응용될 수 있다.

[0251] 분포 순환 이동 또는 분포 순환 이동에 기반한 왜곡 또는 유사도 계산 방법을 위상 신호 처리에 응용하는 방법 및 장치는 아래에 설명하는 바와 같을 수 있다.

[0252] 도 11은 본 개시의 일 실시예에 따른 홀로그램의 위상 신호를 처리하는 방법 및 장치의 일 실시예를 도시한 도면이다.

[0253] 도 11을 참조하면, 입력 홀로그램의 위상 신호를 신호 처리하는 방법 및 장치는 분포 순환 이동에 기반하여 위상 신호 처리하는 신호 처리 수단을 더 포함할 수 있다. 여기서, 신호 처리 수단은 위상 신호를 신호 처리함에 있어, 분포 순환 이동에 기반한 왜곡 또는 유사도 계산 방법을 손실함수로 사용하는 방법 또는 분포 순환 이동

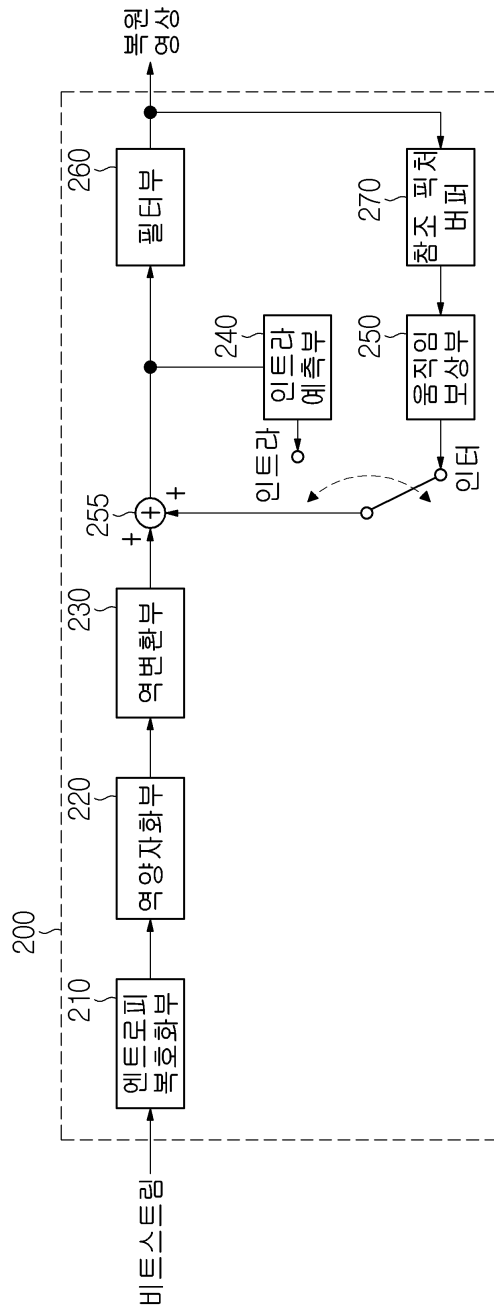
을 사용하여 전처리 또는 후처리 하는 방법 중 적어도 하나의 방법을 이용할 수 있다.

- [0254] 본 개시의 일 실시예에 따르면, 신호 처리 수단은 본 개시의 분포 순환 이동에 기반한 왜곡 또는 유사도 계산 방법을 반복 최적화 과정의 손실 함수로 사용할 수 있다.
- [0255] 위상 신호 처리 방식은, 위상 홀로그램 생성, 초고해상도 위상 홀로그램 생성, 위상 홀로그램 압축 등에 응용될 수 있다.
- [0256] 여기서, SGD (Stochastic Gradient Descent) 기반의 위상 홀로그램 생성 방식은 본 개시에 따라, 아래와 같이 응용될 수 있다.
- [0257] 종래에는 SGD 최적화 과정에서의 손실 함수로 타겟 원본 이미지와 NR 이미지와의 MSE-loss를 사용하였다. 본 개시의 분포 순환 이동에 기반한 왜곡 또는 유사도 계산 방법을 적용할 경우, SGD 최적화 과정에서 MSE-loss 대신 분포 순환 이동에 기반한 DS-MSE-loss가 사용될 수 있다.
- [0258] 여기서, HoloNet 기반의 위상 홀로그램 생성 방식은 본 개시에 따라, 아래와 같이 응용될 수 있다.
- [0259] 종래에는 HoloNet 학습 과정의 손실 함수로 타겟 원본 이미지와 NR 이미지와의 MSE-loss를 사용하였다. 본 개시의 분포 순환 이동에 기반한 왜곡 또는 유사도 계산 방법을 적용할 경우, SGD 알고리즘을 통해 생성된 위상 홀로그램과 타겟 위상 홀로그램 사이의 DS-MSE loss를 HoloNet 학습 과정의 손실 함수로 사용할 수 있다. 또는 성능 향상을 위한 초기화 기법으로써 초기 에폭으로 DS-MSE와 MSE loss를 함께 사용하고, 이후 에폭으로 MSE loss를 사용할 수 있다.
- [0260] 본 개시의 다른 실시예에 따르면, 신호 처리 수단은 본 개시의 분포 순환 이동을 사용하여 위상 홀로그램 신호의 전처리 또는 후처리를 수행할 수 있다. 즉, 신호 처리 수단은 분포 순환 이동 알고리즘을 사용하여 위상 홀로그램 신호를 신호 처리의 목적에 맞게 전처리 또는 후처리할 수 있다.
- [0261] 본 개시의 일 실시예에 따르면, 신호 처리 수단은 위상 홀로그램을 압축하기 전, 신호 간 상관도가 높아지도록 분포 순환 이동 알고리즘을 수행하여 전처리할 수 있다.
- [0262] 구체적으로, 본 개시의 일 실시예에 따르면, 신호 처리 수단은 채널 간 상관도가 높아지도록 위상 홀로그램의 채널을 기준 신호와 대상 신호로 하여 분포 순환 이동한다. 예를 들어, 기준 신호를 Green 채널 위상 홀로그램이라고 할 때, 대상 신호는 Red, Blue 채널 홀로그램으로 설정한다.
- [0263] 각각의 [Green, Red], [Green, Blue]에 대해 분포 순환 이동을 적용하면, 채널 간 상관도를 높일 수 있다.
- [0264] 본 개시의 다른 실시예에 따르면, 신호 처리 수단은 시간적 상관도가 높아지도록 위상 홀로그램 영상의 프레임들을 기준 신호와 대상 신호로 하여 분포 순환 이동할 수 있다. 예를 들어, 기준 신호를 이전 프레임, 대상 신호를 첫 프레임을 제외한 나머지 프레임으로 설정한다. 각각의 대상 신호 프레임에 대해 분포 순환 이동을 적용하면, 프레임 간 상관도를 높일 수 있다.
- [0265] 신호 간의 상관도가 높아지는 경우, 신호의 압축 효율이 향상될 수 있다.
- [0266] 도 12는 본 개시의 일 실시예에 따른 홀로그램의 위상 신호 간의 왜곡 또는 유사도를 계산하는 방법의 일 실시예를 도시한 도면이다.
- [0267] 도 12를 참조하면, S1210 단계에서, 신호 처리 장치는 기준 신호 및 대상 신호를 포함하는 위상 신호들 중에서 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용할 수 있다.
- [0268] S1220 단계에서, 신호 처리 장치는 상기 분포 순환 이동이 적용된 적어도 하나의 위상 신호를 포함하는 위상 신호들 간의 왜곡도를 계산할 수 있다.
- [0269] S1230 단계에서, 신호 처리 장치는 왜곡도의 범위를 보상하기 위해 상기 왜곡도에 변환을 적용할 수 있다.
- [0270] 여기서, 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계는, 상기 위상 신호들의 평균 값을 기초로 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0271] 여기서, 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계는, 상기 위상 신호들 간의 SCD(Shortest Circular Distortion)의 평균 값을 기초로 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0272] 여기서, 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계는, 상기 위상 신호들 간의 거리가 소

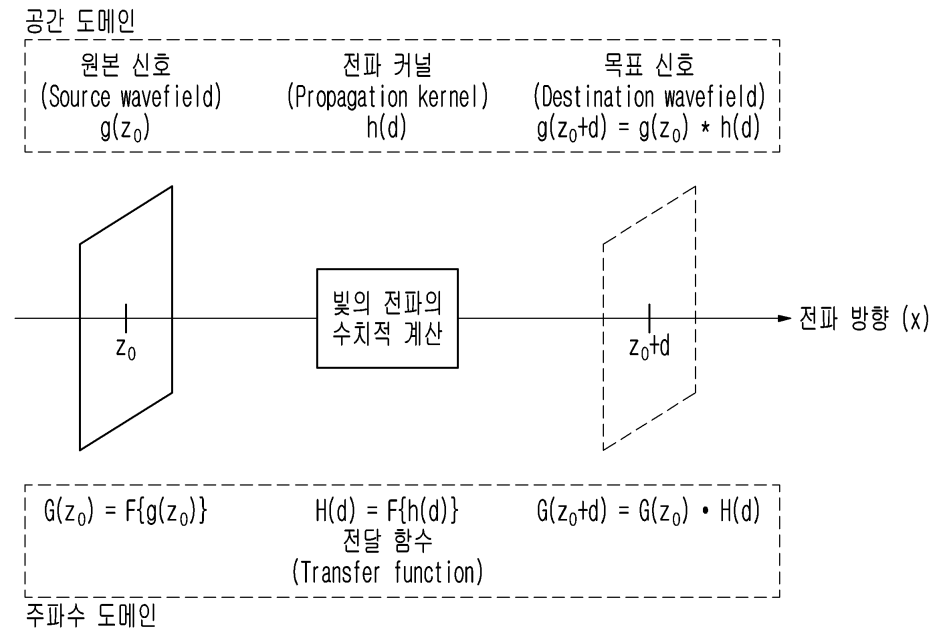
정의 조건을 만족하는 경우, 상기 적어도 하나의 위상 신호에 상기 위상 신호의 주기의 절반만큼 분포 순환 이동을 적용하는 것을 특징으로 할 수 있다.

- [0273] 여기서, 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 단계는, 상기 적어도 하나의 위상 신호에 임의로 선택된 전역 오프셋 후보들 중에서 결정된 하나의 전역 오프셋만큼 분포 순환 이동을 적용하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0274] 여기서, 상기 왜곡도는, 상기 위상 신호들의 이미지 도메인 상에서의 왜곡도인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0275] 여기서, 상기 왜곡도는, 상기 위상 신호들 간의 SCD(Shortest Circular Distortion)를 기초로 계산되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0276] 여기서, 상기 왜곡도는, 상기 위상 신호들의 복소 도메인 상에서의 왜곡도인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0277] 여기서, 상기 왜곡도에 변환을 적용하는 단계는, 상기 왜곡도의 범위를 상기 위상 신호들의 수치적 복원 도메인의 범위에 상응하도록 변환하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0278] 여기서, 상기 왜곡도에 변환을 적용하는 단계는, 상기 왜곡도에 선형 변환을 적용하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0279] 여기서, 일 실시예에 따르면, 홀로그래ムの 위상 신호 간의 왜곡 또는 유사도를 계산하는 방법은 분포 순환 이동을 적용하는 단계, 위상 신호들 간의 왜곡도를 계산하는 단계, 왜곡도에 변환을 적용하는 단계의 순서대로 수행될 수 있다. 여기서, 분포 순환 이동을 적용하는 단계는 적어도 1회 이상 수행될 수 있다. 또는 분포 순환 이동을 적용하는 단계는 복수 회 수행될 수 있다.
- [0280] 여기서, 분포 순환 이동을 적용하는 단계는 위상 신호들의 평균 값을 기초로 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 방식, 위상 신호들 간의 SCD(Shortest Circular Distortion)의 평균 값을 기초로 상기 적어도 하나의 위상 신호에 분포 순환 이동을 적용하는 방식 및 위상 신호에 상기 위상 신호의 주기의 절반만큼 분포 순환 이동을 적용하는 방식 중 적어도 하나 이상의 방식을 이용할 수 있다.
- [0281] 또는, 여기서, 분포 순환 이동을 적용하는 단계에서 적용되는 전역 오프셋은 위상 신호들의 평균 값 또는 위상 신호들 간의 SCD(Shortest Circular Distortion)의 평균 값을 기초로 결정될 수 있다.
- [0282] 본 개시에 따르면, 홀로그래ム 위상 신호의 이동 불변성을 고려하여, 수치적 복원 영상의 왜곡 측정 값과 유사한 위상 왜곡 값을 계산하는 위상 왜곡 측정 장치 및 방법을 제공할 수 있다. 따라서, 위상 신호 처리 과정에서의 계산 복잡도를 줄이고 성능 저하를 최소화하는 데 기여할 수 있다.
- [0283] 본 개시의 예시적인 방법들은 설명의 명확성을 위해서 동작의 시리즈로 표현되어 있지만, 이는 단계가 수행되는 순서를 제한하기 위한 것은 아니며, 필요한 경우에는 각각의 단계가 동시에 또는 상이한 순서로 수행될 수도 있다. 본 개시에 따른 방법을 구현하기 위해서, 예시하는 단계에 추가적으로 다른 단계를 포함하거나, 일부의 단계를 제외하고 나머지 단계를 포함하거나, 또는 일부의 단계를 제외하고 추가적인 다른 단계를 포함할 수도 있다.
- [0284] 본 개시의 다양한 실시 예는 모든 가능한 조합을 나열한 것이 아니고 본 개시의 대표적인 양상을 설명하기 위한 것이며, 다양한 실시 예에서 설명하는 사항들은 독립적으로 적용되거나 또는 둘 이상의 조합으로 적용될 수도 있다.
- [0285] 또한, 본 개시의 다양한 실시 예는 하드웨어, 펌웨어(firmware), 소프트웨어, 또는 그들의 결합 등에 의해 구현될 수 있다. 하드웨어에 의한 구현의 경우, 하나 또는 그 이상의 ASICs(Application Specific Integrated Circuits), DSPs(Digital Signal Processors), DSPDs(Digital Signal Processing Devices), PLDs(Programmable Logic Devices), FPGAs(Field Programmable Gate Arrays), 범용 프로세서(general processor), 컨트롤러, 마이크로 컨트롤러, 마이크로 프로세서 등에 의해 구현될 수 있다.
- [0286] 본 개시의 범위는 다양한 실시 예의 방법에 따른 동작이 장치 또는 컴퓨터 상에서 실행되도록 하는 소프트웨어 또는 머신-실행가능한 명령들(예를 들어, 운영체제, 애플리케이션, 펌웨어(firmware), 프로그램 등), 및 이러한 소프트웨어 또는 명령 등이 저장되어 장치 또는 컴퓨터 상에서 실행 가능한 비-일시적 컴퓨터-판독가능 매체(non-transitory computer-readable medium)를 포함한다.

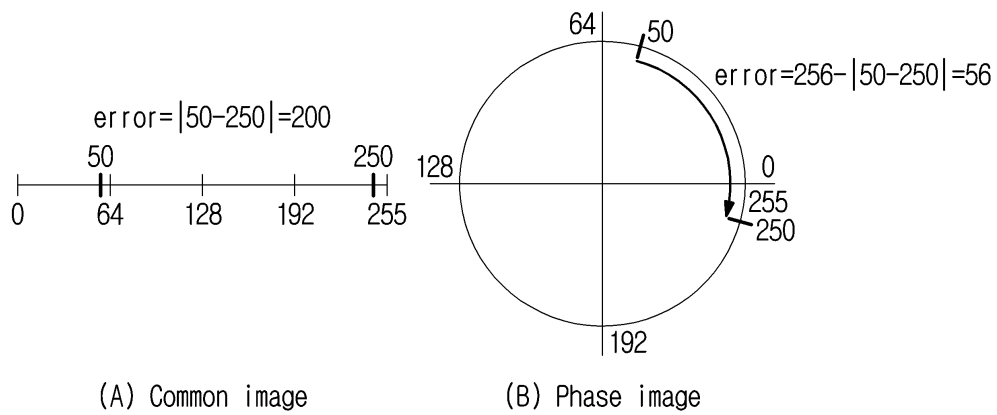
도면2



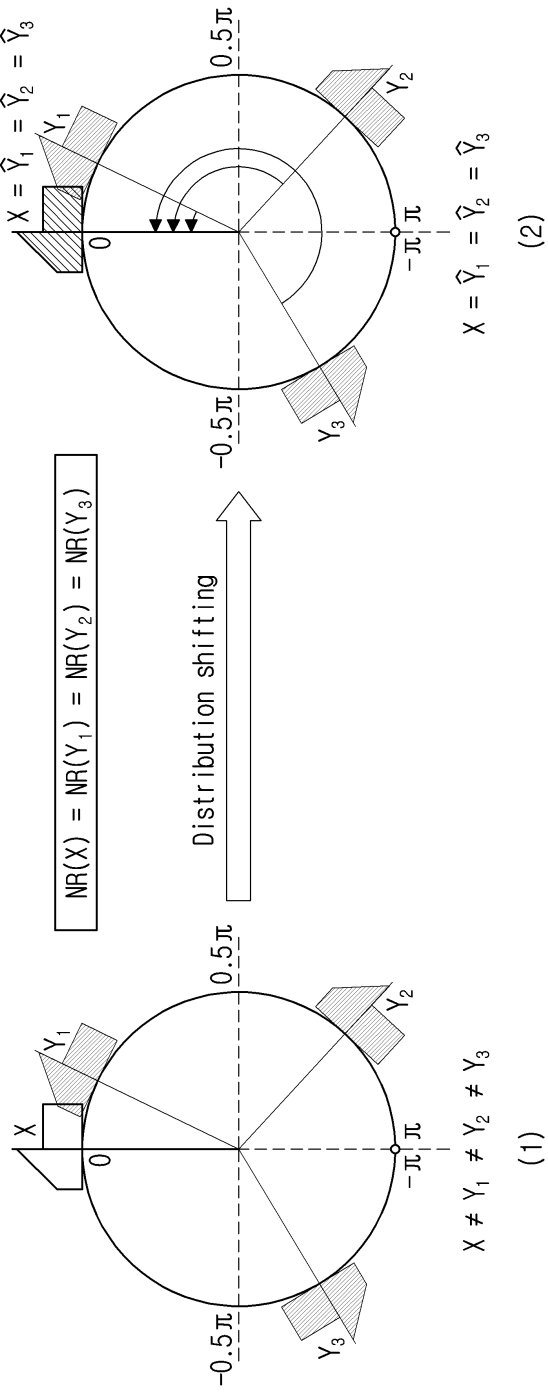
도면3



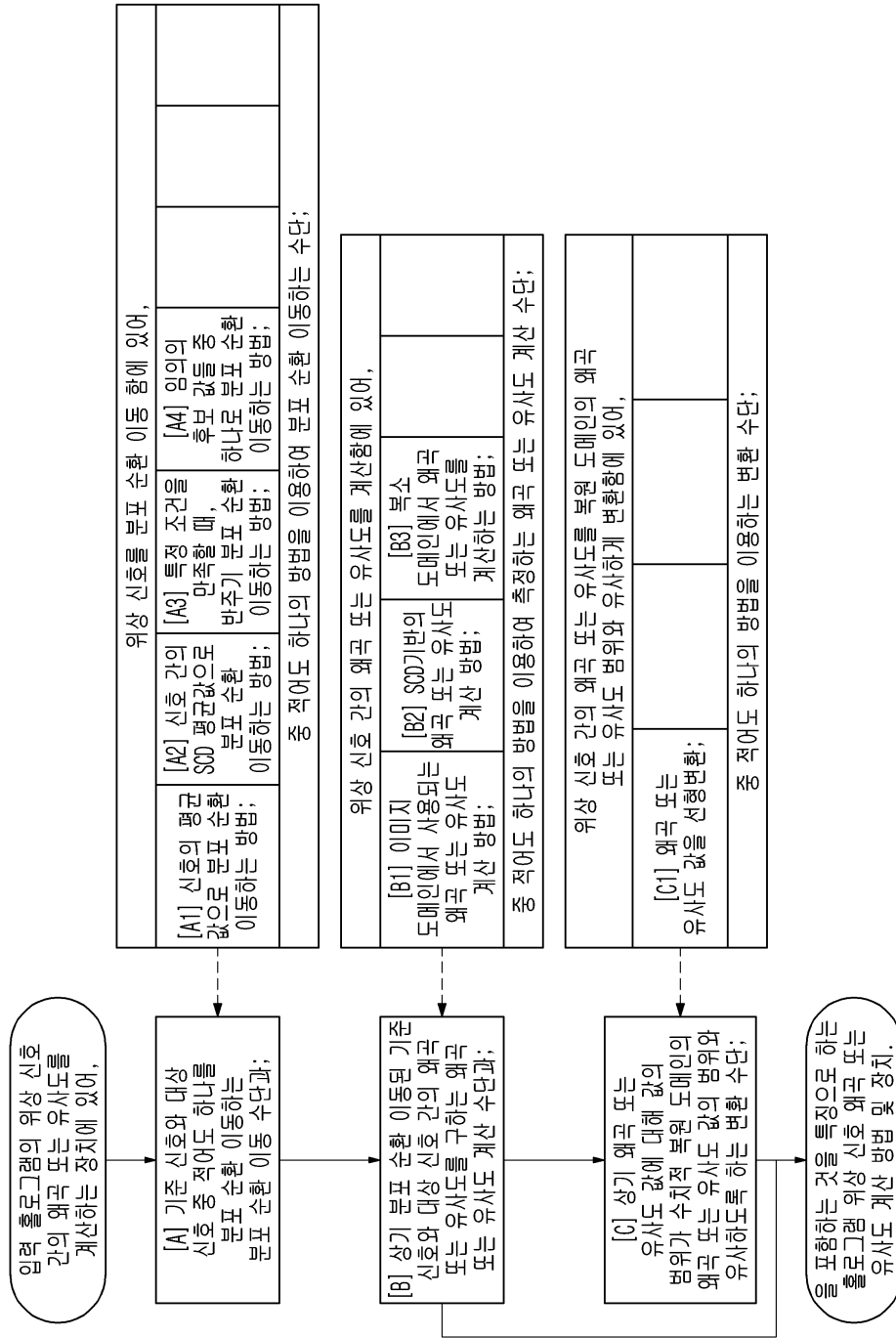
도면4



도면5

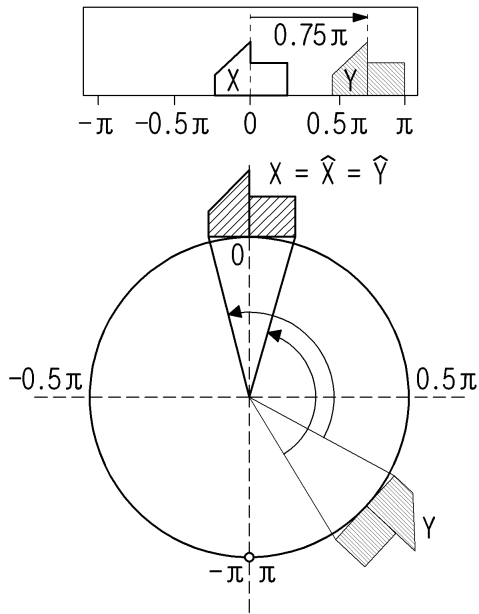


도면6



도면7

Assume Y is 0.75π shifted version of X,



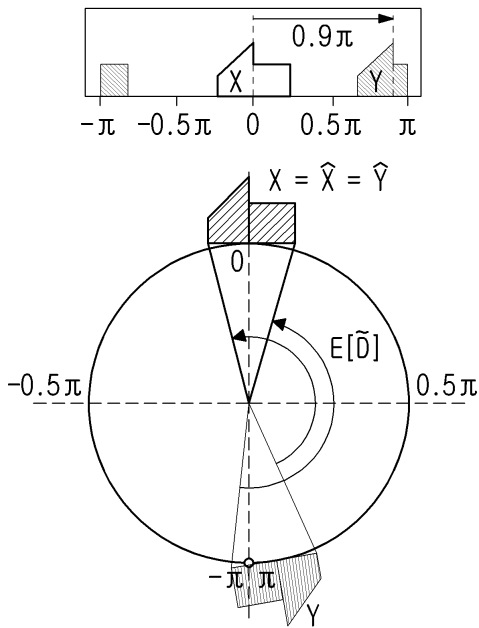
then, $NR(X) = NR(Y)$

$$E(D) = 0.75\pi$$

$$\hat{Y} = (Y - 0.75\pi) \% 2\pi$$

도면8

Assume Y is 0.9π shifted version of X,

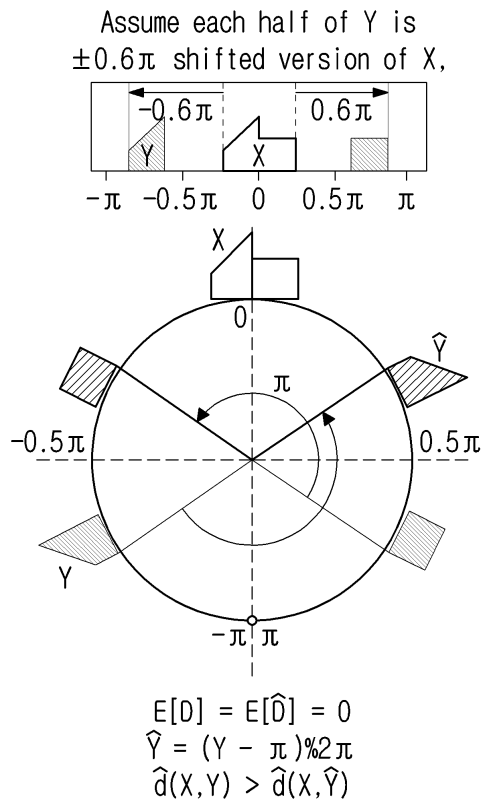


then, $NR(X) = NR(Y)$

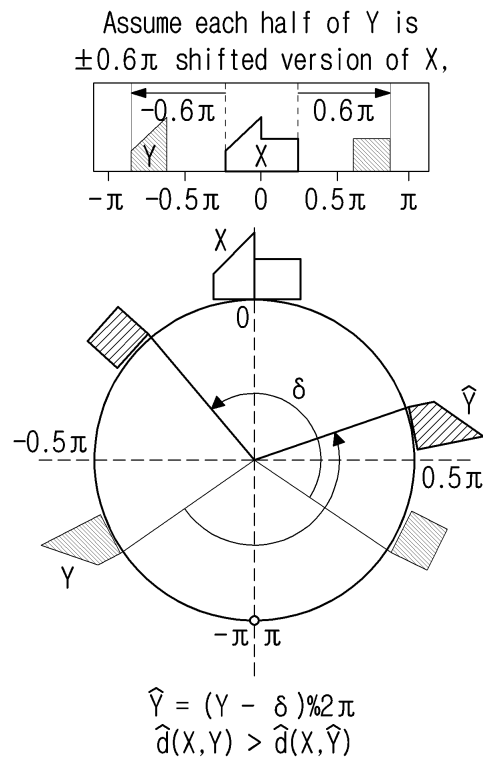
$$E(D) = -0.1\pi \neq E(\tilde{D}) = 0.9\pi$$

$$\hat{Y} = (Y - 0.9\pi) \% 2\pi$$

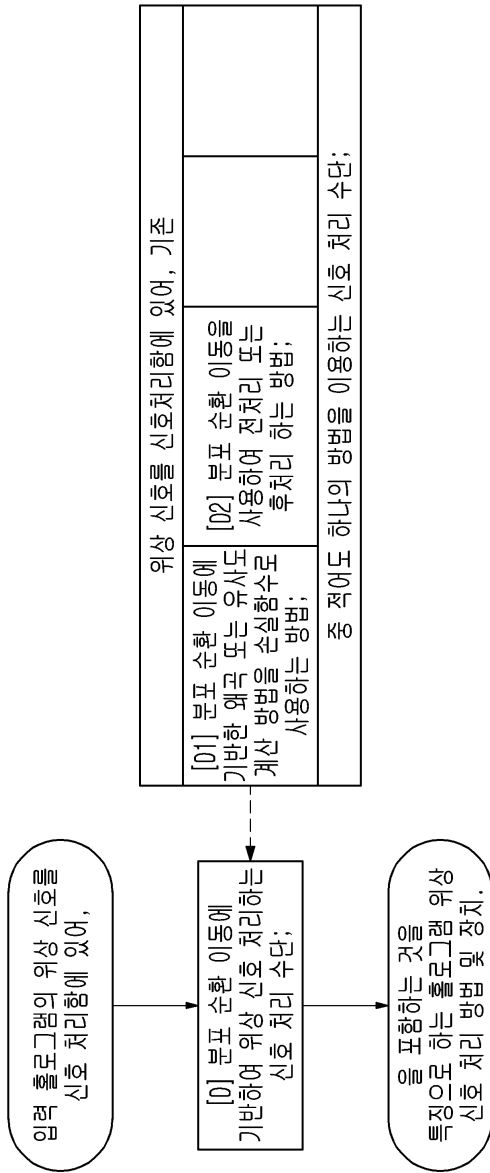
도면9



도면10



도면11



도면12

