

(45) 공고일자 2023년 11월 16일
(11) 등록번호 10-2602719
(24) 등록일자 2023년 11월 10일

- [illegible]

레이어로 분할된다. 데이터 레이어는 플렌옵틱 샘플링 방식을 사용하여 샘플링되고 각 데이터 레이어에 해당하는 라이트 필드를 인코딩하기 위해 원근 및 경사 렌더링과 같은 하이브리드 렌더링을 사용하여 렌더링된다. 압축된(레이어화된) 다차원 장면 데이터의 핵심 표현은 예측 가능한 속도로 생성되고 에지 적응형 보간을 포함한 뷰 합성 프로토콜들을 적용하여 라이트 필드 디스플레이에서 실시간으로 재구성 및 병합되어 기준 요소 이미지들로부터 픽셀 어레이 (예: 열들 다음에 행)를 재구성한다.

(52) CPC특허분류

G06T 17/00 (2013.01)
H04N 13/161 (2018.05)
H04N 13/302 (2018.05)
H04N 19/119 (2015.01)
H04N 19/132 (2015.01)
H04N 19/146 (2015.01)
H04N 19/172 (2015.01)
H04N 19/187 (2015.01)
H04N 19/33 (2015.01)

(72) 발명자

베노이트, 도노반

캐나다 에이1이 3에이1 뉴파운드랜드 앤 라브라도,
 세인트존스 시몬즈 에비뉴 11

트로크, 매튜

캐나다 에이1에이취 1에이3 뉴파운드랜드 앤 라브
 라도, 세인트존스 마호가니 플레이스 10

록키어, 로버트

캐나다 에이1비 1에이취8 뉴파운드랜드 앤 라브라
 도, 세인트존스 다이애나 16에이

부턴, 토마스

캐나다 비2티 1에이5 노바 스코샤, 플레처 레이크
 버렌트 씨터. 30

명세서

청구범위

청구항 1

컴퓨터 구현 방법에 있어서,

장면의 3차원 설명을 포함하는 제1 데이터 세트를 수신하는 단계;

상기 제1 데이터 세트를 복수의 장면 분해 레이어들로 파티셔닝하는 단계 — 복수의 레이어들의 각각의 레이어는 연관된 라이트 필드를 포함하며, 디스플레이 표면 기준 위치에 대해 복수의 레이어들 중 나머지 레이어들의 위치와 다른 위치에서 복수의 레이어들 중 나머지 레이어들의 장면의 부분과 다른 장면의 부분을 표현함 —;

상기 복수의 레이어들 중 적어도 하나에 대응하는 데이터를 복수의 서브섹션들로 파티셔닝하는 단계 — 특정 서브섹션의 위치는 상기 장면 내에 표현된 객체의 적어도 일부의ジオ메트리(geometry)에 따라 결정됨 —; 및

제2 데이터 세트를 생성하기 위해 다중 레이어들 및 다중 서브섹션들을 인코딩하는 단계를 포함하고,

상기 제2 데이터 세트의 크기는 상기 제1 데이터 세트의 크기보다 작은,

방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제2 데이터 세트를 원격 장치와 연관된 디스플레이 장치에서 제시될 장면에 대해 상기 원격 장치로 전송하는 단계를 더 포함하는,

방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

레이어 또는 서브섹션을 인코딩하는 단계는 상기 제1 데이터 세트의 대응하는 부분에 대해 샘플링 동작을 수행하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 샘플링 동작은 상기 제2 데이터 세트와 연관된 목표 압축률에 기초하는,

방법.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서,

다중 레이어들 및 다중 서브섹션들을 인코딩하는 단계는,

레이 트레이싱을 사용하여, 인코딩될 픽셀들의 세트를 렌더링하는 단계;

선택된 복수의 요소 이미지들을 사용하여 상기 픽셀들의 세트가 렌더링되도록 상기 복수의 요소 이미지들로부터 다중 요소 이미지들을 선택하는 단계; 및

샘플링 동작을 사용하여 픽셀 집합을 샘플링하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 샘플링 동작은 플렌옵틱 샘플링 방식에 따라 상기 복수의 요소 이미지의 대응하는 부분으로부터 다중 요소 이미지들을 선택하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 샘플링 동작을 수행하는 단계는,

레이어 또는 서브섹션과 연관된 유효 공간 해상도를 결정하는 단계; 및

결정된 각도 해상도에 따라, 상기 복수의 요소 이미지들로부터 다중 요소 이미지들을 선택하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 각도 해상도는 상기 레이어 또는 서브섹션과 연관된 장면의 부분과 연관된 방향 해상도의 함수로서 결정되는,

방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 각도 해상도는 디스플레이 장치와 연관된 시야(field of view)로서 결정되는,

방법.

청구항 10

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 장면의 3차원 설명은 복수의 요소 이미지들을 나타내는 라이트 필드 데이터를 포함하는,

방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 복수의 요소 이미지들의 각각은 하나 이상의 이미지 획득 장치들에 의해 캡처되는,

방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 라이트 필드 데이터는 상기 복수의 요소 이미지들에 대응하는 깊이 맵을 포함하는,

방법.

청구항 13

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제1 데이터 세트는 상기 장면에 포함된 표면들 상의 법선들(normals)의 방향에 대한 정보를 포함하고, 상기 법선들의 방향은 기준 방향에 대해 표현되는,

방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 표면들 중 적어도 일부의 반사 특성들은 비-램버시안(non-Lambertian)인,

방법.

청구항 15

제1항 또는 제2항에 있어서,

레이어 또는 서브섹션을 인코딩하는 단계는,

레이어 또는 서브섹션에 대해, 상기 장면에서 객체의 대응하는 부분을 나타내는 하나 이상의 폴리곤들을 획득하는 단계;

상기 하나 이상의 폴리곤들에 기초하여, 뷰-독립적 표현(view-independent representation)을 결정하는 단계; 및

상기 제2 데이터 세트에서 상기 뷰-독립적 표현을 인코딩하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 16

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제2 데이터 세트를 수신하는 단계;

상기 레이어들의 각각 및 상기 서브섹션들의 각각에 대응하는 상기 제2 데이터 세트의 부분들을 디코딩하는 단계; 및

상기 디코딩된 부분들을 라이트 필드 이미지의 표현으로 결합하는 단계; 및

디스플레이 장치상에 상기 라이트 필드 이미지를 표시하는 단계를 더 포함하는,

방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 라이트 필드 이미지에 대한 사용자의 위치를 나타내는 사용자 입력을 수신하는 단계; 및;

상기 디스플레이 장치 상에 표시되기 전에 상기 사용자 입력에 따라 상기 라이트 필드 이미지를 업데이트하는 단계를 더 포함하는,

방법.

청구항 18

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 디스플레이 표면에 더 가깝게 위치한 복수의 장면 분해 레이어들 중의 레이어들은 상기 디스플레이 표면으로부터 더 멀리 위치한 동일한 폭의 레이어들보다 더 낮은 압축비를 달성하는,

방법.

청구항 19

제1항 또는 제2항에 있어서,
상기 제2 데이터 세트의 상기 다중 레이어들은 라이트 필드들을 포함하는,
방법.

청구항 20

제19항에 있어서,
상기 라이트 필드들은 최종 라이트 필드를 생성하기 위해 병합되는,
방법.

청구항 21

제1항 또는 제2항에 있어서,
상기 레이어들을 파티셔닝하는 단계는 각 레이어의 깊이 범위를 제한하는 단계를 포함하는,
방법.

청구항 22

제1항 또는 제2항에 있어서,
상기 디스플레이 표면에 더 가깝게 위치한 레이어들은 상기 디스플레이 표면으로부터 더 멀리 위치한 레이어들보다 폭이 더 좁은,
방법.

청구항 23

제1항 또는 제2항에 있어서,
상기 제1 데이터 세트를 복수의 레이어들로 파티셔닝하는 단계는 상기 장면에 걸쳐 균일한 압축률을 유지하는,
방법.

청구항 24

제1항 또는 제2항에 있어서,
상기 제1 데이터 세트를 복수의 레이어들로 파티셔닝하는 단계는 상기 제1 데이터 세트를 내부 및 외부 절두체 볼륨 레이어 세트들(frustum volume layer sets)로 파티셔닝하는 단계를 포함하는,
방법.

청구항 25

제1항 또는 제2항에 있어서,
상기 방법은 다차원 비디오 스트리밍, 다차원 대화형 게임, 실시간 대화형 콘텐츠, 또는 다른 라이트 필드 시나리오들을 위한 합성 라이트 필드를 생성하는 데 사용되는,
방법.

청구항 26

제25항에 있어서,
상기 합성 라이트 필드는 유효한 뷰잉 영역(valid viewing zone)에서만 생성되는,
방법.

청구항 27

라이트 필드 이미지 렌더링 방법에 있어서,

장면의 3차원 표면 설명을 디스플레이 표면 기준 위치에 대해 레이어들로 파티셔닝하는 단계 - 각 레이어는 연관된 라이트 필드 및 샘플링 방식을 구비함 -;

적어도 하나의 레이어를 복수의 서브섹션들로 더 파티셔닝하는 단계 - 각 서브섹션은 연관된 라이트 필드 및 샘플링을 구비하며, 특정 서브섹션의 위치는 상기 장면 내에 표현된 객체의 적어도 일부의 지오메트리(geometry)에 따라 결정됨 -;

추가 픽셀 정보(extra-pixel information)를 포함하는 픽셀들의 제1 세트를 샘플링 방식에 따라 샘플링된 라이트 필드에 대응하는 각 레이어 및 각 서브섹션에 대해 렌더링하는 단계;

상기 픽셀들의 제1 세트를 사용하여 각 레이어 및 서브섹션에 대한 상기 샘플링된 라이트 필드를 재구성하는 단계; 및

상기 재구성된 라이트 필드를 단일 출력 라이트 필드 이미지로 병합하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 우선권의 주장

[0002] 본 출원은 2019년 2월 22일에 출원된 미국 특허 출원 일련 번호 62/809,390에 대한 우선권을 주장하며, 그 내용은 그 전체가 참조로 여기에 포함된다.

[0003] 기술 분야

[0004] 본 개시는 데이터 압축 및 압축해제 시스템을 포함하는 이미지(라이트 필드) 데이터 인코딩 및 디코딩 및 라이트 필드 디스플레이에서 대화형 다차원 콘텐츠를 제공하기 위한 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 오토스테레오스코픽(autostereoscopic), 높은 각 해상도(high-angular resolution), 넓은 시야(FOV, field of view), 멀티 뷰 디스플레이는 개선된 시각적 경험을 사용자에게 제공한다. 3D 튜링 테스트(3D Turing Test)(Banks 등에 의해 설명됨)를 통과할 수 있는 3차원 디스플레이는 기존의 표준 디스플레이에 의해 투사된 2차원 이미지 대신에 라이트 필드 표현을 요구할 것이다. 현실적인 라이트 필드 표현은 디스플레이 데이터를 전송하기 위해 엄청난 양의 대역폭을 필요로 하며, 이는 적어도 기가 픽셀의 데이터를 포함할 것이다. 이러한 대역폭 요건은 당업계에 공지된 기술에 의해 제공되는 대역폭 능력을 초과한다. 최근의 소비자 비디오 표준은 8K UHD(Ultra High-Def)로, 디스플레이 당 33.1 메가픽셀의 데이터만 제공한다.

[0006] 전송을 위한 압축 데이터는 당업계에 공지되어 있다. 데이터는 인터넷 또는 이더넷 네트워크를 통한 장거리 데이터 전송; 또는 그래픽 처리 유닛(GPU)에 의해 생성되고 디스플레이 장치로 전송되는 합성 다중 뷰의 전송과 같이 하지만 이에 제한되지 않는 다양한 유형의 전송을 위해 압축될 수 있다. 이러한 데이터는 비디오 스트리밍, 실시간 대화형 게임 또는 임의의 다른 라이트 필드 디스플레이에 사용될 수 있다.

[0007] 압축된 라이트 필드 전송을 위한 몇몇 코덱은 당업계에 공지되어 있다. Olsson 등은 중복을 줄이고 압축된 표현을 생성하기 위해 전체 라이트 필드 데이터 세트가 처리되는 압축 기술을 교시한다. 라이트 필드의 서브 컴포넌트(즉, 요소 이미지)는 표준 비디오 코딩 기술을 사용하여 중복을 이용하기 위해 비디오 시퀀스로 취급된다. Vetro 등은 라이트 필드 서브 컴포넌트 사이의 중복을 이용하여 더 나은 압축률을 달성하지만 집중적인 처리를 희생하는 압축 표준의 다중 뷰 특화(multiple-view specialization)를 교시한다. 이들 기술은 충분한 압축률을 달성하지 못할 수 있고, 양호한 비율이 달성될 때 인코딩 및 디코딩 프로세스는 실시간 속도(real-time rate)를 초과한다. 이들 접근법은 전체 라이트 필드가 인코딩되기 전에 스토리지 디스크 또는 메모리에 존재한다고 가정한다. 따라서 많은 수의 픽셀을 필요로 하는 대형 라이트 필드 디스플레이는 저장 매체에서 읽을 때 과도한 대기 시간을 유발한다.

[0008] 다차원 콘텐츠를 실시간으로 전달하기 위한 하드웨어 제한을 극복하려는 시도에서, 다양한 방법 및 시스템이 알려져 있지만, 이들 방법 및 시스템은 그들 자신의 제한을 나타낸다.

[0009] 미국 특허 제 9727970호는 3D 이미지 데이터를 데이터 그룹으로 분리하여 홀로그램을 생성하고, 데이터 그룹으로부터 홀로그램 평면 상의 상이한 위치에 디스플레이될 홀로그램 값을 계산하고, 그리고 홀로그램 디스플레이를 생성하기 위해 각각의 위치에 대한 값을 합산하는 분산된 병렬(다중 프로세서) 컴퓨팅 방법 및 장치를 개시한다. 홀로그램 디스플레이를 생성하는 것에 초점을 둔 개시로서, 적용되는 전략은 라이트 필드보다 더 작은 스케일로 미세하게 조작하는 것을 포함하며, 이 경우 컬러에 따라 데이터를 분류 및 분할한 다음 컬러 이미지 평면에 이어 평면 이미지를 서브 이미지로 더 분할하는 것을 특징으로 한다.

[0010] 미국 특허 공개 번호 20170142427은 다중 요소 이미지(호겔)를 단일 호겔로 축소하는 것을 기반으로 하는 콘텐츠 적응형 라이트 필드 압축을 설명한다. 본 개시는 보장된 압축률을 달성하는 것을 설명하지만, 이미지 손실률은 다양하며 개시된 바와 같이 호겔을 결합할 때 악용될 수 있는 중복성의 보장이 없다.

[0011] 미국 특허 공개 번호 20160360177은 깊이 정보를 활용하는 완전 시차 압축 라이트 필드 합성 방법을 설명하고 전체 세트의 요소 이미지의 서브세트를 형성하는 요소 이미지 세트로부터 라이트 필드를 생성하기 위한 뷰 합성 방법의 적용에 관한 것이다. 여기에 설명된 뷰 합성 기술은 역방향 위핑 동안 발생하는 재구성 아티팩트를 처리하는 방법을 설명하거나 제공하지 않는다.

[0012] 미국 특허 공개 번호 20150201176은 캡처되는 장면에서 객체의 거리에 기초하여 라이트 필드에서 요소 이미지의 서브샘플링을 개시하는 완전 시차 압축 라이트 필드 3D 이미징 시스템을 위한 방법을 설명한다. 이 방법은 인코딩 속도를 향상시킬 수 있는 간단한 조건을 사용하여 라이트 필드를 다운 샘플링하는 가능성을 설명하지만, 최악의 경우다운 샘플링이 발생하지 않는 3D 장면이 존재하고 인코딩은 인코딩 이전에 전체 라이트 필드를 구비하는 것에 의존하는 변환 인코딩 기술로 폴 백(fall back)될 것이다.

[0013] 증가된 데이터 전송 능력, 개선된 데이터 인코더-디코더(CODEC), 및 다차원 콘텐츠를 라이트 필드 디스플레이로

실시간 전달하기 위한 개선된 데이터 전송 및 코덱 능력 둘 다를 달성하기 위한 방법에 대한 요구가 남아 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 본 개시는 일반적으로 현재의 하드웨어 한계를 극복하거나 구현될 수 있는 실시간으로 라이트 필드 디스플레이를 구동하기 위한 3D 이미지 데이터 인코딩 및 디코딩에 관한 것이다.

[0015] 본 개시의 목적은 비디오 스트리밍 및 실시간 대화형 게임의 어플리케이션을 위한 라이트 필드 디스플레이에서, 실시간으로 양호한 해상도의 라이트 필드 생성을 제공하기 위해 감소된 시스템 전송 레이턴시 및 고대역폭 속도를 갖는 코덱을 제공하는 것이다. 라이트 필드 또는 3D 장면 데이터는 서브셋으로 분해되며, 이는 레이어(레이어화된 라이트 필드에 해당) 또는 데이터 레이어로 지칭될 수 있으며, 전송을 위해 데이터를 압축하기 위해 샘플링 및 렌더링된 다음, 라이트 필드 디스플레이의 데이터 레이어에 해당하는 라이트 필드를 구성 및 병합하기 위해 디코딩된다.

과제의 해결 수단

[0016] 일 양상에 따라 본 명세서에서 컴퓨터 구현 방법이 제공되고, 상기 방법은,

[0017] 장면의 3차원 설명을 포함하는 제1 데이터 세트를 수신하는 단계;

[0018] 상기 제1 데이터 세트를 복수의 장면 분해 레이어들로 파티셔닝하는 단계 - 복수의 레이어들의 각각의 레이어는 연관된 라이트 필드를 포함하며, 디스플레이 표면 기준 위치에 대해 복수의 레이어들 중 나머지 레이어들의 위치와 다른 위치에서 복수의 레이어들 중 나머지 레이어들의 장면의 부분과 다른 장면의 부분을 표현함 -;

[0019] 상기 레이어들 중 적어도 하나에 대응하는 데이터를 복수의 서브섹션들로 파티셔닝하는 단계 - 특정 서브섹션의 위치는 상기 장면 내에 표현된 객체의 적어도 일부의 지오메트리(geometry)에 따라 결정됨 -; 및

[0020] 제2 데이터 세트를 생성하기 위해 다중 레이어들 및 다중 서브섹션들을 인코딩하는 단계를 포함한다.

[0021] 다른 양상에 따라 본 명세서에서 컴퓨터 구현 방법이 제공되고, 상기 방법은,

[0022] 장면의 3차원 설명을 포함하는 제1 데이터 세트를 수신하는 단계, 상기 제1 데이터 세트는 상기 장면 내의 표면들상의 법선들의 방향들에 대한 정보를 포함하고,

[0023] 상기 법선들의 방향들은 기준 방향에 대해 표현되고,

[0024] 상기 표면들의 적어도 일부는 비-램버시안 반사 특성을 구비함 -;

[0025] 상기 제1 데이터 세트를 복수의 레이어들로 파티셔닝하는 단계 - 각 레이어는 기준 위치에 대한 위치에서 상기 장면의 일부를 표현함 -; 및

[0026] 제2 데이터 세트를 생성하기 위해 다중 계층들을 인코딩하는 단계를 포함하고, 상기 제2 데이터 세트의 크기는 상기 제1 데이터 세트의 크기보다 작은 것을 특징으로 한다.

[0027] 다른 양상에 따라 본 명세서에서 라이트 필드 이미지 렌더링 방법이 제공되고, 상기 방법은,

[0028] 장면의 3차원 표면 설명을 레이어들로 파티셔닝하는 단계 - 각 레이어는 연관된 라이트 필드 및 샘플링 방식을 구비함 -;

[0029] 적어도 하나의 레이어를 복수의 서브섹션들로 더 파티셔닝하는 단계 - 각 서브섹션은 연관된 라이트 필드 및 샘플링을 구비하며, 특정 서브섹션의 위치는 상기 장면 내에 표현된 객체의 적어도 일부의 지오메트리(geometry)에 따라 결정됨 -;

[0030] 추가 픽셀 정보(extra-pixel information)를 포함하는 픽셀들의 제1 세트를 샘플링 방식에 따라 샘플링된 라이트 필드에 대응하는 각 레이어 및 각 서브섹션에 대해 렌더링하는 단계;

[0031] 상기 픽셀들의 제1 세트를 사용하여 각 레이어 및 서브섹션에 대한 상기 샘플링된 라이트 필드를 재구성하는 단계; 및

[0032] 상기 재구성된 라이트 필드를 단일 출력 라이트 필드 이미지로 병합하는 단계를 포함한다.

- [0033] 다른 양상에 따라 본 명세서에서 컴퓨터 구현 방법이 제공되고, 상기 방법은,
- [0034] 장면의 3차원 설명을 포함하는 제1 데이터 세트를 수신하는 단계;
- [0035] 상기 제1 데이터 세트를 기준 위치에 대한 위치에서 상기 장면의 일부를 각각 표현하는 복수의 레이어들로 파티셔닝하는 단계;
- [0036] 상기 복수의 레이어들의 각각에 대해, 상기 장면에서 객체의 대응하는 부분을 표현하는 하나 이상의 폴리곤을 획득하는 단계;
- [0037] 상기 하나 이상의 폴리곤에 기초하여 뷰-독립적 표현(view-independent representation)을 결정하는 단계; 및
- [0038] 상기 뷰-독립적 표현을 제2 데이터 세트의 일부로서 인코딩하는 단계를 포함하고, 상기 제2 데이터 세트의 크기는 상기 제1 데이터 세트의 크기보다 작은 것을 특징으로 한다.
- [0039] 다른 양상에 따라 본 명세서에서 컴퓨터 구현 방법이 제공되고, 상기 방법은,
- [0040] 장면의 3차원 설명을 포함하는 제1 데이터 세트를 수신하는 단계;
- [0041] 상기 제1 데이터 세트를 기준 위치에 대한 위치에서 상기 장면의 일부를 각각 표현하는 복수의 레이어들로 파티셔닝하는 단계;
- [0042] 상기 레이어들에 대한 샘플링 동작을 수행함으로써 제2 데이터 세트를 생성하기 위해 다중 레이어들을 인코딩하는 단계;
- [0043] 적절한 샘플링 레이트를 결정하기 위해 유효 해상도 함수를 사용하는 단계; 및
- [0044] 상기 적절한 샘플링 레이트를 사용하여 레이어와 연관된 요소 이미지들을 다운샘플링하는 단계를 포함하고,
- [0045] 상기 제2 데이터 세트의 크기는 상기 제1 데이터 세트의 크기보다 작은 것을 특징으로 한다.
- [0046] 다른 양상에 따라 본 명세서에서 컴퓨터 구현 방법이 제공되고, 상기 방법은,
- [0047] 장면의 3차원 설명을 포함하는 제1 데이터 세트를 수신하는 단계 - 상기 제1 데이터 세트는 상기 장면의 표면들의 투명도에 대한 정보를 포함함 -;
- [0048] 상기 제1 데이터 세트를 기준 위치에 대한 위치에서 장면의 일부를 각각 나타내는 복수의 레이어들로 파티셔닝하는 단계; 및
- [0049] 제2 데이터 세트를 생성하기 위해 다중 레이어들을 인코딩하는 단계를 포함하고, 상기 제2 데이터 세트의 크기는 상기 제1 데이터 세트의 크기보다 작은 것을 특징으로 한다.
- [0050] 다른 양상에 따라 본 명세서에서 라이트 필드 이미지 렌더링 방법이 제공되고, 상기 방법은,
- [0051] 장면의 3차원 표면 설명을 레이어들로 파티셔닝하는 단계 - 각 레이어는 연관된 라이트 필드 및 샘플링 방식을 구비함 -;
- [0052] 적어도 하나의 레이어를 복수의 서브섹션들로 더 파티셔닝하는 단계 - 각 서브섹션은 연관된 라이트 필드 및 샘플링을 구비하며, 특정 서브섹션의 위치는 상기 장면 내에 표현된 객체의 적어도 일부의 지오메트리(geometry)에 따라 결정됨 -;
- [0053] 추가 픽셀 정보(extra-pixel information)를 포함하는 픽셀들의 제1 세트를 샘플링 방식에 따라 샘플링된 라이트 필드에 대응하는 각 레이어 및 각 서브섹션에 대해 렌더링하는 단계;
- [0054] 상기 픽셀들의 제1 세트를 사용하여 각 레이어 및 서브섹션에 대한 상기 샘플링된 라이트 필드를 재구성하는 단계; 및
- [0055] 상기 재구성된 라이트 필드를 단일 출력 라이트 필드 이미지로 병합하는 단계를 포함한다.
- [0056] 실시예들은 다음 특징들 중 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0057] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 제2 데이터 세트는 원격 장치와 연관된 디스플레이 장치에서 제시될 장면에 대해 상기 원격 장치로 전송된다.
- [0058] 상기 방법의 일 실시 예에서, 레이어 또는 서브섹션을 인코딩하는 단계는 상기 제1 데이터 세트의 대응하는 부

분에 대해 샘플링 동작을 수행하는 단계를 포함한다.

- [0059] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 샘플링 동작은 상기 제2 데이터 세트와 연관된 목표 압축률에 기초한다.
- [0060] 상기 방법의 일 실시 예에서, 다중 레이어들 및 다중 서브섹션들을 인코딩하는 단계는 상기 제1 데이터 세트의 대응하는 부분에 대해 샘플링 동작을 수행하는 단계를 포함하고, 상기 샘플링 동작을 수행하는 단계는,
- [0061] 레이 트레이싱을 사용하여, 인코딩될 픽셀들의 세트를 렌더링하는 단계;
- [0062] 선택된 복수의 요소 이미지들을 사용하여 상기 픽셀들의 세트가 렌더링되도록 상기 복수의 요소 이미지들로부터 다중 요소 이미지들을 선택하는 단계; 및
- [0063] 샘플링 동작을 사용하여 픽셀 집합을 샘플링하는 단계를 포함한다.
- [0064] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 샘플링 동작은 플렌옵틱 샘플링 방식에 따라 상기 복수의 요소 이미지의 대응하는 부분으로부터 다중 요소 이미지들을 선택하는 단계를 포함한다.
- [0065] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 샘플링 동작을 수행하는 단계는,
- [0066] 레이어 또는 서브섹션과 연관된 유효 공간 해상도를 결정하는 단계; 및
- [0067] 결정된 각도 해상도에 따라, 상기 복수의 요소 이미지들의 대응하는 부분으로부터 다중 요소 이미지들을 선택하는 단계를 포함한다.
- [0068] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 각도 해상도는 상기 레이어 또는 서브섹션과 연관된 장면의 부분과 연관된 방향 해상도의 함수로서 결정된다.
- [0069] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 각도 해상도는 디스플레이 디바이스와 연관된 시야(field of view)로서 결정된다.
- [0070] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 3차원 설명은 복수의 요소 이미지들을 나타내는 라이트 필드 데이터를 포함한다.
- [0071] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 복수의 요소 이미지들의 각각은 하나 이상의 이미지 획득 장치들에 의해 캡처된다.
- [0072] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 제1 데이터 세트는 상기 장면에 포함된 표면들 상의 법선들(normals)의 방향에 대한 정보를 포함하고, 상기 법선들의 방향은 기준 방향에 대해 표현된다.
- [0073] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 표면들 중 적어도 일부의 반사 특성들은 비-램버시안(non-Lambertian)이다.
- [0074] 상기 방법의 일 실시 예에서, 레이어 또는 서브섹션을 인코딩하는 단계는,
- [0075] 레이어 또는 서브섹션에 대해, 상기 장면에서 객체의 대응하는 부분을 나타내는 하나 이상의 폴리곤들을 획득하는 단계;
- [0076] 상기 하나 이상의 폴리곤들에 기초하여, 뷰-독립적 표현(view-independent representation)을 결정하는 단계; 및
- [0077] 상기 제2 데이터 세트에서 상기 뷰-독립적 표현을 인코딩하는 단계를 포함한다.
- [0078] 상기 방법의 일 실시 예에서,
- [0079] 상기 제2 데이터 세트를 수신하는 단계;
- [0080] 상기 레이어들의 각각 및 상기 서브섹션들의 각각에 대응하는 상기 제2 데이터 세트의 부분들을 디코딩하는 단계; 및
- [0081] 상기 디코딩된 부분들을 라이트 필드 이미지의 표현으로 결합하는 단계; 및
- [0082] 디스플레이 장치상에 상기 라이트 필드 이미지를 표시하는 단계를 더 포함한다.
- [0083] 상기 방법의 일 실시 예에서,
- [0084] 상기 라이트 필드 이미지에 대한 사용자의 위치를 나타내는 사용자 입력을 수신하는 단계; 및;

- [0085] 상기 디스플레이 장치상에 표시되기 전에 상기 사용자 입력에 따라 상기 라이트 필드 이미지를 업데이트하는 단계를 더 포함한다.
- [0086] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 디스플레이 표면에 더 가깝게 위치한 레이어는 상기 디스플레이 표면으로부터 더 멀리 위치한 동일한 폭의 레이어보다 더 낮은 압축비를 달성한다.
- [0087] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 제2 데이터 세트의 상기 다중 레이어들은 라이트 필드들을 포함한다.
- [0088] 상기 방법의 일 실시 예에서, 최종 라이트 필드를 생성하기 위해 상기 라이트 필드들을 병합하는 단계를 더 포함한다.
- [0089] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 레이어들을 파티셔닝하는 단계는 각 레이어의 깊이 범위를 제한하는 단계를 포함한다.
- [0090] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 디스플레이 표면에 더 가깝게 위치한 레이어들은 상기 디스플레이 표면으로부터 더 멀리 위치한 레이어들보다 폭이 더 좁다.
- [0091] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 제1 데이터 세트를 복수의 레이어들로 파티셔닝하는 단계는 상기 장면에 걸쳐 균일한 압축률을 유지한다.
- [0092] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 제1 데이터 세트를 복수의 레이어들로 파티셔닝하는 단계는 상기 라이트 필드 디스플레이를 내부 및 외부 절두체 볼륨 레이어 세트들(frustum volume layer sets)로 파티셔닝하는 단계를 포함한다.
- [0093] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 방법은 다차원 비디오 스트리밍, 다차원 대화형 게임, 실시간 대화형 콘텐츠, 또는 다른 라이트 필드 디스플레이 시나리오들을 위한 합성 라이트 필드를 생성하는 데 사용된다.
- [0094] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 합성 라이트 필드는 유효한 뷰잉 영역(valid viewing zone)에서만 생성된다.
- [0095] 일 양상에 따라 본 명세서에서 라이트 필드 이미지를 렌더링하기 위한 컴퓨터 방법은,
- [0096] 장면의 3차원 표면 설명을 레이어들로 파티셔닝하는 단계 - 각 레이어는 연관된 라이트 필드 및 샘플링 방식을 구비함 -;
- [0097] 적어도 하나의 레이어를 복수의 서브섹션들로 더 파티셔닝하는 단계 - 각 서브섹션은 연관된 라이트 필드 및 샘플링을 구비하며, 특정 서브섹션의 위치는 상기 장면 내에 표현된 객체의 적어도 일부의 지오메트리(geometry)에 따라 결정됨 -;
- [0098] 추가 픽셀 정보(extra-pixel information)를 포함하는 픽셀들의 제1 세트를 샘플링 방식에 따라 샘플링된 라이트 필드에 대응하는 각 레이어 및 각 서브섹션에 대해 렌더링하는 단계;
- [0099] 상기 픽셀들의 제1 세트를 사용하여 각 레이어 및 서브섹션에 대한 상기 샘플링된 라이트 필드를 재구성하는 단계; 및
- [0100] 상기 재구성된 라이트 필드를 단일 출력 라이트 필드 이미지로 병합하는 단계를 포함한다.
- [0101] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 픽셀들의 제1 세트 및 연관된 추가 정보는 서브세트들로 파티셔닝되고, 각 레이어 및 서브섹션에 대한 상기 샘플링된 라이트 필드를 재구성하고 캐시의 단일 서브세트로부터 픽셀들을 사용하여 병합을 수행하여 출력 라이트 필드 이미지의 일부 서브세트를 생성한다.
- [0102] 상기 방법의 일 실시 예에서, 각 레이어 및 서브섹션에 대한 상기 샘플링된 라이트 필드를 재구성하는 단계는 캐시로부터 상기 픽셀들의 제1 세트를 재투영함으로써 수행되어 상기 출력된 라이트 필드 이미지의 일부 서브세트를 생성한다.
- [0103] 상기 방법의 일 실시 예에서, 상기 픽셀들의 제1 세트에서 단일 차원을 따른 워핑 프로세스와 이에 후속하여 상기 픽셀들의 제1 세트에서 제2 차원의 제2 워핑 프로세스를 사용하여 수행되는 픽셀들을 재투영하는 단계를 더 포함한다.

도면의 간단한 설명

- [0104] 본 개시의 이러한 특징 및 기타 특징은 첨부된 도면을 참조하는 다음의 상세한 설명에서 더욱 명백해질 것이다.

- 도 1: 본 개시에 따른 레이어화된 장면 분해(CODEC) 시스템의 실시예의 개략도(블록도)이다.
- 도 2: 라이트 필드 디스플레이의 내부 절두체 체적 및 외부 절두체 체적의 개략적인 평면도이다.
- 도 3a: 본 개시에 따른 픽셀 재구성을 위한 에지 적응 보간의 적용을 개략적으로 나타낸다.
- 도 3b: 픽셀 어레이를 재구성하기 위한 프로세스 흐름을 나타낸다.
- 도 4: 본 개시에 따른 이미지(픽셀) 재구성 프로세스의 일부로서, 픽셀 매트릭스 내의 샘플링 방식에 의해 지정된 요소 이미지를 개략적으로 나타낸다.
- 도 5: 본 개시에 따른 이미지(픽셀) 재구성 프로세스의 일부로서, 픽셀 매트릭스의 열 단위 재구성을 개략적으로 나타낸다.
- 도 6: 본 개시내용에 따른 이미지(픽셀) 재구성 프로세스의 일부로서, 픽셀 매트릭스의 후속 행 단위 재구성을 예시한다.
- 도 7: 본 개시에 따른 예시적인 코덱 시스템 실시예를 개략적으로 도시한다.
- 도 8: 디스플레이의 내부 절두체 라이트 필드와 상관되는 이미지 데이터 세트(10개 층의 계층화 방식)의 예시적인 레이어화된 장면 분해를 개략적으로 나타낸다.
- 도 9: 디스플레이의 내부 절두체 및 외부 절두체 라이트 필드 영역에 각각 상관되는 이미지 데이터의 예시적인 계층화된 장면 분해(10개 레이어들 중 2개의 레이어화된 방식)를 개략적으로 나타낸다.
- 도 10: 본 개시에 따른 예시적인 코덱 프로세스 흐름을 나타낸다.
- 도 11: 본 개시에 따른, 레이어화되고 압축된 코어 인코딩된(라이트 필드) 표현을 생성하기 위해 3D 이미지(장면) 데이터를 인코딩하기 위한 예시적인 프로세스 흐름을 나타낸다.
- 도 12: 본 개시내용에 따른, 디스플레이에서 (디스플레이) 라이트 필드를 구성하기 위해 코어 인코딩된 표현을 디코딩하기 위한 예시적인 프로세스 흐름을 나타낸다.
- 도 13: 본 개시에 따른 디스플레이에서 (디스플레이/최종) 라이트 필드를 생성하기 위해 코어 이미지 데이터와 함께 사용하기 위한 잔여(residue) 이미지 데이터를 인코딩 및 디코딩하기 위한 예시적인 프로세스 흐름을 나타낸다.
- 도 14: 본 개시에 따른, 레이어화된 깊이 이미지를 포함하는 예시적인 코덱 프로세스 흐름을 나타낸다.
- 도 15: 본 개시에 따른, 정반사 라이트 계산을 포함하는 예시적인 코덱 프로세스 흐름을 나타낸다.
- 도 16: 본 개시에 따른, 정반사 라이트 계산을 포함하는 대안적인 예시적인 코덱 프로세스 흐름을 나타낸다.
- 도 17: 본 개시에 따른, 뷰 독립적 래스터화를 포함하는 예시적인 코덱 프로세스 흐름을 나타낸다.
- 도 18: 본 개시에 따른, 유효 해상도 함수를 사용하여 샘플링 동작을 수행하는 것을 포함하는 예시적인 코덱 프로세스 흐름을 나타낸다.
- 도 19: 깊이에서 유효 해상도를 측정하는 데 사용되는 관찰자 기반 구성 평면을 나타낸다.
- 도 20: 장면 깊이에 대한 유효 해상도의 점근적 특성을 그래프로 나타낸다.
- 도 21: 본 개시에 따른, 투명성을 포함하는 예시적인 CODEC 프로세스 흐름을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0105] 본 개시는 일반적으로 라이트 필드 디스플레이에서 라이트 필드의 효율적인(빠른) 전송 및 재구성을 제공하기 위해 라이트 필드 데이터 또는 다차원 장면 데이터 압축 및 압축 해제를 위한 코덱 시스템 및 방법에 관한 것이다.

[0106] 본 개시의 다양한 특징은 도면의 예시와 함께 다음의 상세한 설명으로부터 명백해질 것이다. 본 명세서에 개시된 레이어화된 장면 분해 코덱의 설계 인자, 구성 및 사용은 본 명세서에 기술되고 청구된 본 개시의 범위를 제한하지 않는 실시예를 나타내는 다양한 예를 참조하여 설명된다. 본 개시가 속하는 분야의 숙련된 기술자는 발명의 범위 및 사상을 벗어나지 않고 본 개시의 교시에 따라 실시될 수 있는 본 명세서에 개시되지 않은 발명의

다른 변형, 예 및 실시예가 있을 수 있음을 이해할 것이다.

- [0107] 정의
- [0108] 달리 정의되지 않는 한, 본 명세서에 사용된 모든 기술 및 과학 용어는 본 개시가 속하는 기술 분야의 통상의 기술자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 갖는다.
- [0109] 본 명세서에서 용어 "포함하는"과 함께 사용될 때 "a" 또는 "an"이라는 단어의 사용은 "하나"를 의미할 수 있지만, "하나 이상", "적어도 하나" 및 "하나 또는 둘 이상"의 의미와도 일치한다.
- [0110] 본 명세서에 사용된 용어 "포함하는(comprising)", "갖는", "포함하는(including)" 및 "함유하는" 및 그의 문법적 변형은 포괄적이거나 개방적인 것이며 추가의 언급되지 않은 요소 및/또는 방법 단계를 배제하지 않는다. 구성, 장치, 물품, 시스템, 용도 또는 방법과 관련하여 본 명세서에서 사용될 때 용어 "본질적으로 구성되는"은 추가 요소 및/또는 방법 단계가 존재할 수 있지만 이러한 추가사항은 언급된 구성, 장치, 물품, 시스템, 방법 또는 용도 기능에 실질적으로 영향을 미치지 않는다. 구성, 장치, 물품, 시스템, 용도 또는 방법과 관련하여 본 명세서에서 사용될 때 용어 "구성되는"은 추가 요소 및/또는 방법 단계의 존재를 배제한다. 특정 요소 및/또는 단계를 포함하는 것으로 본 명세서에 기술된 구성, 장치, 물품, 시스템, 용도 또는 방법은 또한 이들 실시예에서 구체적으로 언급되었는지와 상관없이 특정 실시예에서 이러한 요소 및/또는 단계로 본질적으로 구성될 수 있고, 다른 실시예에서 이러한 요소 및/또는 단계로 구성될 수 있다.
- [0111] 본 명세서에 사용된 용어 "약"은 주어진 값으로부터 대략 $\pm 10\%$ 의 변동을 지칭한다. 이러한 변형은 구체적으로 언급되었는지와 상관없이 본 명세서에 임의의 주어진 값에 항상 포함된다는 것을 이해해야 한다.
- [0112] 본 명세서에서 범위의 언급은, 달리 지시되지 않는 한, 범위 내에 속하는 범위 및 개별 값 모두를 범위를 나타내는데 사용되는 숫자와 동일한 장소 값으로 전달하도록 의도된다.
- [0113] 임의의 예 또는 예시적인 언어의 사용, 예를 들어 "이와 같은", "예시적인(exemplary) 실시예", "예시적인(illustrative) 실시예" 및 "예를 들어"는 본 개시와 관련된 양태, 실시예, 변형, 요소 또는 특징을 예시하거나 나타나기 위한 것이며 본 개시의 범위를 제한하려는 것은 아니다.
- [0114] 본 명세서에 사용된 용어 "연결하다" 및 "연결된"은 본 개시의 요소 또는 특징 사이의 임의의 직접 또는 간접 물리적 연관을 지칭한다. 따라서, 이들 용어는 연결된 것으로 기술된 요소 또는 특징 사이에 개재된 다른 요소 또는 특징이 존재하더라도 서로 간에 부분적으로 또는 완전히 포함되거나, 부착되거나, 결합되거나, 배치되거나, 함께 결합되거나, 연통하거나, 작동적으로 관련되는 등의 요소 또는 특징을 나타내는 것으로 이해될 수 있다.
- [0115] 본 명세서에서 사용되는 기본 레벨에서 용어 "라이트 필드"는 폐색이 없는 공간의 지점을 통해 모든 방향으로 흐르는 빛의 양을 설명하는 기능을 지칭한다. 따라서, 라이트 필드는 자유 공간에서 빛의 위치 및 방향의 함수로서 래디언스(radiance)를 나타낸다. 라이트 필드는 다양한 렌더링 프로세스를 통해 합성적으로 생성될 수 있거나 라이트 필드 카메라 또는 라이트 필드 카메라의 어레이로부터 캡처될 수 있다.
- [0116] 라이트 필드는 에너지 값의 세트 또는 세트들에 대한 대응하는 방향 세트를 갖는 3D 공간의 포인트 세트 사이의 매핑으로 가장 일반적으로 설명될 수 있다. 실제로 이러한 에너지 값은 빨강, 녹색, 파랑 색상 강도 또는 잠재적으로 다른 복사 파장이다.
- [0117] 본 명세서에서 사용되는 용어 "라이트 필드 디스플레이"는 장치에 입력된 유한한 수의 라이트 필드 래디언스 샘플로부터 라이트 필드를 재구성하는 장치이다. 래디언스 샘플은 빨강, 녹색 및 파랑(RGB)의 색상 구성 요소를 나타낸다. 라이트 필드 디스플레이에서 재구성을 위해, 라이트 필드는 또한 4차원 공간으로부터 단일 RGB 컬러로의 맵핑으로 이해될 수 있다. 4개의 차원은 디스플레이의 수직 및 수평 차원 및 라이트 필드의 방향 구성 성분을 기술하는 2개의 차원을 포함한다. 라이트 필드는 함수로 정의된다:
- [0118] $LF: (x, y, u, v) \rightarrow (r, g, b)$
- [0119] 고정된 x_f, y_f 의 경우, $LF(x_f, y_f, u, v)$ 는 "요소 이미지"로 지칭되는 2차원(2D) 이미지를 나타낸다. 요소 이미지는 고정된 x_f, y_f 위치로부터의 라이트 필드의 지향성 이미지이다. 복수의 요소 이미지가 나란히 연결될 때, 결과 이미지는 "통합 이미지"로 지칭된다. 통합 이미지는 라이트 필드 디스플레이에 필요한 전체 라이트 필드로 이해될 수 있다.

- [0120] 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "장면의 설명"이라는 용어는 라이트 필드 이미지 또는 비디오가 렌더링될 수 있는 잠재적인 소스가 될 수 있는 3차원 장면의 지오메트리 설명을 지칭한다. 이러한 지오메트리 설명은 점, 사변형 및 다각형으로 나타낼 수 있지만 이에 국한되지 않는다.
- [0121] 본 명세서에 사용된 바와 같이, "디스플레이 표면"이라는 용어는 전통적인 3D 디스플레이에서와 같이 평면 디스플레이 평면 및 개별 라이트 필드 호겔 요소의 물리적 간격에 의해 정의되는 점 및 방향 세트를 지칭할 수 있다. 본 개시내용에서, 본 명세서에 기재된 바와 같은 디스플레이는 곡면 상에 형성될 수 있고, 따라서 점들의 세트는 곡면 디스플레이 표면, 또는 상상될 수 있는 임의의 다른 원하는 디스플레이 표면 기하형상에 존재할 것이다. 추상적인 수학적 의미에서 라이트 필드는 지오메트리 표면에 정의 및 표시될 수 있으며 실제 물리적 에너지 방출 기능이 있는 물리적 디스플레이 표면과 반드시 일치하지 않을 수 있다.
- [0122] 본 명세서에 사용된 바와 같이, "요소 이미지"라는 용어는 고정된 x_f , y_f , $LF(x_f, y_f, u, v)$ 에 대한 2차원(2D) 이미지, $LF(x_f, y_f, u, v)$ 를 나타낸다. 요소 이미지는 고정된 x_f , y_f 위치로부터의 빛 필드의 방향 이미지이다.
- [0123] 본 명세서에 사용된 바와 같이, "적분 이미지"라는 용어는 나란히 연결된 복수의 요소 이미지를 말하며, 따라서 결과 이미지는 "적분 이미지"로 지칭된다. 적분 이미지는 라이트 필드 디스플레이에 필요한 전체 라이트 필드로 이해될 수 있다.
- [0124] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 용어 "레이어"는 디스플레이 표면에 평행하거나 비평행인, 일관되거나 가변적인 폭을 갖는 임의의 2개의 평행하거나 비평행한 경계를 지칭한다.
- [0125] 본 명세서에서 사용되는 용어 "픽셀"은 디스플레이를 생성하는 데 사용되는 광원 및 라이트 방출 메커니즘을 의미한다.
- [0126] 본 명세서에 개시된 구성, 장치, 물품, 방법 및 용도의 임의의 실시예는 당업자에 의해 또는 본 개시의 범위 및 사상을 벗어나지 않고서 그러한 변형 또는 등가물을 제조함으로써 구현될 수 있는 것으로 고려된다.
- [0127] *레이어화된 장면 분해(LSD) 코덱 시스템 및 방법*
- [0128] 개시에 따른 코덱은 공지된 샘플링, 렌더링에 따라 드로잉하는 전략 및 그 파생, 구현 및 적용을 포함하는 본 명세서에 개시된 바와 같은 신규한 레이어화된 장면 분해 전략과 함께 사용하기 위한 상기 전략을 적응시키고 라이트 필드 디스플레이를 생성하기 위한 뷰 합성 방법을 적용한다.
- [0129] 3D 디스플레이
- [0130] 기술 분야에 이미 공지된 종래의 디스플레이는 실질적으로 균일한 간격으로 이차원 행으로 구성되는 공간 픽셀로 구성되어, 이상적인 균일 샘플링을 가능하게 한다. 대조적으로, 3차원 디스플레이는 공간 및 각도 샘플을 모두 필요로 한다. 일반적인 3차원 디스플레이의 공간 샘플링은 균일하게 유지되지만, 각도 샘플은 각도 공간에서의 디스플레이의 풋프린트(footprint) 측면에서 반드시 균일한 것으로 간주되지 않는다. 각도 광선 분포(angular ray distribution)에 대한 다양한 라이트 필드 파라미터화에 대한 검토는 미국 특허 제 6,549,308호를 참조하자.
- [0131] 라이트 필드의 지향성 구성 요소로도 알려진 각도 샘플은 Gortler 등의 "The Lumigraph"에 의해 교시된 평면 파라미터화와 같은 다양한 방식으로 파라미터화될 수 있다. 라이트 필드 기능이 위치 측면에서 이산될 때, 라이트 필드는 Chai의 "Plenoptic Sampling"에서 규칙적으로 이격된 평면 파라미터화된 핀홀 프로젝터의 어레이로서 이해될 수 있다. 고정된 x_f , y_f 에 대하여, 요소 이미지 $LF(x_f, y_f, u, v)$ 는 임의의 광선 파라미터화를 갖는 핀홀 프로젝터에 의해 프로젝트된 이미지로서 이해될 수 있는 2차원 이미지를 나타낸다. 이상적인 평면 파라미터화된 핀홀 프로젝터에 대하여, 상기 유한한 수의 샘플이 규칙적으로 이격된 어레이로서 이미지 평면에 매핑된다(평면 내의 규칙적인 간격은 대응하는 각도 방향 공간에서의 규칙적인 간격과 대응하지 않는다).
- [0132] 전형적인 3D 라이트 필드 디스플레이의 경우, 포인트 및 방향 세트는 평면 디스플레이 평면 및 개별 라이트 필드 호겔 요소의 물리적 간격에 의해 정의된다. 그러나, 디스플레이는 곡면 상에 형성될 수 있고, 따라서 점들의 세트는 곡면 디스플레이 표면, 또는 상상될 수 있는 임의의 다른 원하는 디스플레이 표면 기하형상에 존재하는 것으로 알려져 있다. 추상적인 수학적 의미에서 라이트 필드는 어떤 지오메트리 표면에서도 정의되고 표현될 수 있으며 실제 물리적 에너지 방출 기능을 가진 물리적 디스플레이 표면과 반드시 일치하지 않을 수도 있다. Chen et al이 보여준 것처럼 문헌에서 표면광장의 개념은 이 경우를 설명한다.

- [0133] 평면 파라미터화의 고려는, 본 개시의 범위 또는 사상을 제한하려는 의도가 아니며, 라이트 필드의 지향성 구성 요소는 다양한 다른 임의의 파라미터화에 의해 파라미터화될 수 있기 때문이다. 예를 들어, 물리적으로 구현된 핀홀 프로젝터의 렌즈 왜곡 또는 기타 광학 효과는 평면 파라미터화의 왜곡으로 모델링될 수 있다. 또한, 디스플레이 구성 요소는 Clark 등의 "A transformation method for the reconstruction of functions from nonuniformly spaced samples"의 교시와 같이 워핑 기능을 통해 정의될 수 있다.
- [0134] 워핑 함수 $\alpha(u, v)$ 는 핀홀 프로젝터의 왜곡된 평면 파라미터화를 정의하여, 라이트 필드에서 방향성 광선의 임의의 대안적인 각도를 생성한다. 라이트 필드 핀홀 프로젝터로부터 전파되는 광선의 각도 분포는 핀홀 프로젝터의 초점 길이 f 와 대응하는 2 차원 워핑 함수 $\alpha(u, v)$ 에 의해 결정된다.
- [0135] 하나 이상의 사용자를 위해 라이트 필드를 투시하는 오토스테레오스코픽 라이트 필드 디스플레이는 다음과 같이 정의된다:
- [0136] $D = (M_x, M_y, N_u, N_v, f, \alpha, D_{LP})$
- [0137] 여기서 (M_x, M_y) 는 디스플레이 공간 해상도의 수평 및 수직 치수이고 (N_u, N_v) 는 디스플레이의 각도 해상도 구성 요소의 수평 및 수직 치수이다. 디스플레이는 피치 D_{LP} , 초점 길이 f 및 디스플레이에 의해 프로젝트된 라이트 필드에 대한 광선 방향의 분포를 정의하는 워핑 함수 α 를 갖는 이상적인 라이트 필드 프로젝터의 어레이이다.
- [0138] 라이트 필드 디스플레이 $D = (M_x, M_y, N_u, N_v, f, \alpha, D_{LP})$ 를 구동하는 라이트 필드 $LF(x, y, u, v)$ 는 x 방향의 라이트 필드 래디언스 샘플 M_x , y 방향의 라이트 필드 래디언스 샘플 M_y , u 및 v 방향의 라이트 필드 래디언스 샘플 N_u 및 N_v 를 필요로 한다. D 가 단일 워핑 함수 α 로 정의되어 있지만, 이상적인 라이트 필드 핀홀 프로젝터의 어레이 내의 각각의 라이트 필드 평면 파라미터화된 핀홀 프로젝터는 각도 광선 분포가 하나의 마이크로렌즈로부터 다른 마이크로렌즈로 상당히 변화하도록 하는 실제 핀홀 프로젝터에 상당한 마이크로렌즈 변화가 존재하는 경우 고유한 워핑 함수 α 를 가질 수 있다.
- [0139] *라이트 필드 디스플레이 렌더링*
- [0140] Halle 등의 "Fast Computer graphics rendering for full parallax spatial displays"에서는 디스플레이의 내부 절두체 부피 및 외부 절두체 부피 내에 위치한 객체를 렌더링하는 방법을 제공한다. 도 2는 디스플레이 표면(300) 뒤에(즉, 디스플레이 내에) 위치한 내부 절두체 부피(110) 및 디스플레이 표면의 앞에(즉, 디스플레이의 외부에) 위치되는 외부 절두체 부피(210)를 갖는 이들 2 개의 보이는 절두체에 의해 정의된 볼륨 영역 내의 객체를 나타내는 라이트 필드 디스플레이를 도시한다. 도시된 바와 같이, 다양한 객체(프리즘형 및 원형 형상으로 개략적으로 도시됨)는 디스플레이 표면(300)으로부터 다양한 깊이에 위치된다.
- [0141] Halle 등은 내부 절두체 부피와 외부 절두체 부피가 2 개의 별개의 라이트 필드로 개별적으로 렌더링되는 이중 절두체 렌더링 기술을 교시한다. 내부 절두체 부피 $LF_0(x, y, u, v)$ 및 외부 절두체 부피 $LF_P(x, y, u, v)$ 는 깊이 병합 프로세스(depth merging process)를 통해 단일 라이트 필드 $LF(x, y, u, v)$ 로 재결합된다.
- [0142] 이 기술은 핀홀 카메라 렌더링 모델을 사용하여 라이트 필드의 개별 요소 이미지를 생성한다. 각 요소 이미지(즉, 렌더링된 평면 파라미터화된 핀홀 프로젝터 이미지 각각)는 2 개의 카메라(내부 절두체 부피를 캡처하기 위한 하나의 카메라 및 외부 절두체 부피를 캡처하기 위한 하나의 카메라)의 사용이 필요하다. Halle 등은 표준 오소스코픽 카메라(standard orthoscopic camera) 및 그의 컨주게이트 슈도스코픽 카메라(conjugate pseudoscopic camera)를 사용하여 라이트 필드의 샘플링 영역에서 핀홀 프로젝터 이미지를 렌더링하는 것을 교시한다. 핀홀 카메라 C 에 대하여, 대응하는 컨주게이트 카메라는 C^* 로 표시된다.
- [0143] 워핑 함수 α 를 사용하여 파라미터화된 프로젝터를 갖는 라이트 필드 디스플레이 내에서 요소 이미지를 캡처하기 위해, 이상적인 평면 파라미터화된 핀홀 카메라의 재파라미터화를 기반으로 하는 일반화된 핀홀 카메라가 사용된다. Gortler 등이 교시한 바와 같이, 초점 길이 f 를 갖는 핀홀 카메라 C 는 2 개의 평행한 평면에 의해 생성된 파라미터화에 의해 한정된 광선을 갖는다. 핀홀 카메라 C 는 이미지 $I_C(u, v)$ 를 캡처하며, 여기서 (u, v) 는 광선 파라미터화 평면의 좌표이다. 일반화된 핀홀 카메라 C_a 는 Clark 등에 의해 교시된 바와 같이, 2차원의 연속적이고 반전 가능한 타임 워핑 함수를 사용하여 워핑된 평면 파라미터화된 카메라에 기초한다. 워핑 함수 $\alpha(u, v)$ 에서 그 역수는 $\gamma(u, v)$ 이다. 따라서, C_a 의 이미지인 $I_{C_a} = I_C(\alpha(u, v))$ 이다.

- [0144] 일반화된 핀홀 카메라 C_a 가 주어지면, 이중 절두체 렌더링을 완료하기 위해 컨주게이트 일반화된 카메라 C_a^* 이 형성된다. 일반화된 핀홀 카메라 쌍의 $M_x \times M_y$ 그리드로부터 생성된 뷰는 라이트 필드 디스플레이를 위한 라이트 필드를 렌더링하도록 렌더링된다.
- [0145] 따라서, 주어진 라이트 필드 디스플레이 $D = (M_x, N_y, N_u, N_v, f, \alpha, D_{LP})$ 에 대해 라이트 필드 $LF(x, y, u, v)$ 를 생성하도록 렌더링되어야하는 모든 일반화된 핀홀 카메라 쌍의 세트는 다음과 같이 정의된다:
- [0146] $\{(C_a, C_a^*)(x, y) | 1 \leq x \leq M_x, 1 \leq y \leq M_y\}$
- [0147] 오소스코픽 카메라의 세트 ($O = \{(C_a(x, y) | 1 \leq x \leq M_x, 1 \leq y \leq M_y)\}$)는 내부 절두체 부피에 대응하는 라이트 필드 이미지를 캡처하며 컨주게이트 일반화된 카메라의 세트 ($P = \{C_a^*(x, y) | 1 \leq x \leq M_x, 1 \leq y \leq M_y\}$)는 외부 절두체 부피에 대응하는 이미지를 캡처한다. 진술한 바와 같이, 내부 절두체 부피 및 외부 절두체 부피는 단일 라이트 필드로 결합된다.
- [0148] 실시간 렌더링
- [0149] 사용 가능한 라이트 필드 디스플레이는 각각 라이트 필드의 서로 다른 방향 광선을 나타내는 적어도 10억 내지 100억 개의 픽셀을 필요로 할 수 있다고 믿어진다. 30Hz의 적당한 대화식 프레임 속도를 고려하고 각 원시 광선 픽셀에 24비트가 필요하다고 가정하면 (100억 픽셀) x (24비트/픽셀) x (30프레임/초) = 720Gbits/초의 상당한 대역폭 요구 사항이 발생한다. 대역폭, 더 높은 충실도의 디스플레이가 궁극적으로 요구될 것이기 때문에 이 디스플레이 기술이 소비자 시장에 도달하고 기술이 시각적 충실도 측면에서 계속 발전함에 따라 이 요구 사항은 실제로 100Tbit/s로 확장되는 것으로 볼 수 있다.
- [0150] 대화형 컴퓨터 그래픽 렌더링은 적어도 통상적으로 장면을 이미징하는 가상 카메라의 시뮬레이션을 계산하는 것을 요구하는 계산 프로세스이다. 장면은 일반적으로 다양한 재료, 색상 및 물리적 광학 속성과 다양한 보기 카메라 위치를 가진 광원 및 표면 또는 볼륨의 집합으로 설명된다. 이 렌더링 계산은 대화형 프레임 속도(예: 최소 30Hz)를 생성할 수 있을 만큼 충분히 빠르게 수행되어야 한다. 렌더링 충실도는 광 전송 계산이 어느 정도 근사화되었는지에 따라 조정할 수 있으며, 이는 더 많은 근사치가 사용됨에 따라 당연히 계산 요구 사항을 감소시킨다. 이러한 이유로 대화형 컴퓨터 그래픽은 일반적으로 매우 충실도가 높은 광 전송 모델이 사용되는 오프라인 렌더링 그래픽보다 시각적 충실도가 낮다.
- [0151] 상호 작용에 대한 요구 사항은 해당 대역폭과 함께 특정 프레임 속도(일반적으로 적어도 20-30Hz, 그러나 종종 더 높기를 원함)를 의미하지만 사용자 입력에 대한 즉각적인 그래픽 응답을 지원하기 위해 감소된 대기 시간을 의미한다. 대기 시간 요구 사항과 결합된 고대역폭은 계산 측면에서 특정 과제를 부과한다.
- [0152] 기존의 2D 컴퓨터 그래픽에서 저지연, 높은 프레임 속도 그래픽의 문제를 해결하기 위해 그래픽 처리 장치(GPU)로 알려진 대화식 렌더링 계산을 가속화하도록 설계된 특수 하드웨어가 널리 사용되었다. 이러한 특수 아키텍처는 최신 컴퓨터에 사용되는 일반화된 중앙 처리 장치(CPU)보다 대화식 속도로 훨씬 더 높은 시각적 충실도를 생성할 수 있다. 성능 기능은 인상적이지만 이러한 아키텍처는 궁극적으로 특정 작업에 최적화되어 있다. 즉, 단일 카메라 이미지를 높은 프레임 속도로 렌더링하면서 시각적 품질을 최대화하는 것이다.
- [0153] 라이트 필드 디스플레이의 경우 렌더링 문제는 가상 라이트 필드 카메라에 의해 생성된 이미지를 렌더링하는 문제가 된다. 라이트 필드 카메라(더 자세히 다른 곳에서 정의됨)는 많은 기존 2D 카메라 보기의 배열로 볼 수 있다. 이 보다 일반적인 카메라 모델은 실질적으로 다른 기하학적 구조로 계산된다. 결과는 계산이 기존의 가속 컴퓨터 그래픽 하드웨어의 프레임워크에 잘 매핑되지 않는다는 것이다.
- [0154] 종래의 경우에는 렌더링 계산 파이프라인 절차가 정의되어 있다. 이것은 전통적으로 래스터화를 기반으로 했지만 레이 트레이싱 파이프라인도 표준화되었다 (예: 최근 DirectX 레이 트레이싱). 두 경우 모두 계산 하드웨어 아키텍처는 이러한 파이프라인의 형태와 관련 필수 계산에 맞게 조정되며 궁극적인 목표는 비디오 프레임 속도로 2D 이미지를 생성하는 것이다.
- [0155] 필요한 것은 렌더링 아키텍처에 대한 비용, 크기, 무게 및 전력 요구사항을 최소화하기 위해 최소 하드웨어 풋프린트로 실현될 수 있는 대화형 라이트 필드 렌더링 계산을 위한 다른 파이프라인이다. 이러한 요구 사항은 궁극적으로 해당 가격대의 소비자 제품을 만들고자 하는 욕구에서 비롯된다.

- [0156] 라이트 필드 렌더링을 위한 파이프라인과 필요에 따라 큰 데이터 속도를 고려할 때, 한 가지 주요 병목 현상은 필요한 잠재적인 메모리 대역폭과 관련된다. 기존의 2D 비디오 렌더링 및 처리에서 DDR(Double Data Rate) 메모리에 전체 프레임(또는 프레임의 하위 시퀀스)을 버퍼링하는 것은 일반적으로 수행되는 작업이다. DDR의 데이터 속도와 비용 대 용량으로 인해 이러한 유형의 응용 프로그램에 매우 적합하다는 것이 관찰되었다. 그러나 앞서 논의한 라이트 필드 대역폭 요구 사항은 상당한 DDR 버퍼링이 물리적 공간 및 비용 측면에서 상당히 제한적일 수 있음을 시사한다.
- [0157] 렌더링의 첫 번째 단계는 일반적으로 계산 하드웨어 클럭 속도에 비해 느린 DDR 메모리 또는 일부 다른 메모리의 저장소에서 장면 설명 표현을 로드하는 것이다. 라이트 필드 렌더링의 한 가지 주목할만한 측면은 각 라이트 필드 카메라 렌더링 패스가 다소 전통적인 2D 카메라 렌더링 패스의 어레이로 볼 수 있다는 것이다. 단순하게는, 이러한 2D 카메라(호겔) 각각은 Halle가 제안한 "이중 절두체 렌더링" 방식으로 내부 및 외부 호겔에 대해 두 번 렌더링되어야 한다. 광선의 수는 디스플레이가 나타내는 모든 방향에 대해 2이다. 기존 기술에서 명백한 대체 방식은 내부 및 외부 원거리 클립 평면을 정의하고 디스플레이 표면의 호겔을 통해 외부 원거리 클립 평면에서 광선을 투사하고 내부 원거리 클립 평면에서 종료 (또는 그 반대로 종료) 하는 것이다. 결과적으로 픽셀당 하나의 광선이 생성된다.
- [0158] 최악의 경우, 어레이의 이러한 2D 카메라 렌더링 패스 각각은 전체 장면 설명을 로드해야 한다. 더 낙관적인 경우에도 DDR 또는 기타 느린 메모리에서 장면 설명을 단순히 로드하면 특히 장면이 일반적으로 프레임당 최대 적은 횟수만 액세스되는 기존의 2D 렌더링과 비교하여 큰 대역폭 요구 사항이 발생할 수 있다.
- [0159] 중복 메모리 액세스가 존재하는 것으로 보이는 경우 캐싱 전략을 사용하여 이러한 상황을 해결할 수 있는지 고려해 볼 가치가 있다. 고성능 컴퓨팅에서 더 작지만 더 빠른 스토리지(일반적으로 계산이 수행되는 칩의 다이에 직접 위치)에 데이터를 캐싱하면 다음과 같은 방식으로 계산이 구성될 때 DDR 또는 느린 메모리 대역폭 제약을 크게 완화할 수 있다. 데이터는 일종의 일관성 있고 예측 가능한 패턴으로 중복 로드된다. 라이트 필드 렌더링의 관점에서, 각 호겔의 요소 이미지 렌더링은 최악의 경우 동일한 장면 설명을 필요로 하므로 캐싱을 통해 효과적으로 활용될 상당한 잠재적 중복성을 식별한다. 장면의 단일 카메라 뷰의 표면 렌더링을 위한 최신 광선 추적 기술은 이미지 평면의 일관된 광선이 종종 동일한 형상(또는 적어도 기본 교차점에 대해)을 교차한다는 원칙에 따라 캐시 일관성을 활용할 수 있다. 폴리곤에서 단일 이미징 카메라로의 래스터화는 본질적으로 동일한 일관성을 활용한다. 단일 폴리곤이 로드되면 하드웨어에 캐시될 수 있고 교차하는 모든 픽셀은 하드웨어 가속 래스터화 프로세스에서 계산될 수 있기 때문이다. 라이트 필드의 맥락에서 광선 추적 또는 래스터화를 사용하여 렌더링되는 경우 라이트 필드를 구성하는 개별 2D 카메라 뷰 내에서 이러한 동일한 일관성 원칙을 활용할 수 있음이 분명하다.
- [0160] 또한 라이트 필드 카메라의 다른 호겔에서 나온 이미징 광선이 동일한 다각형을 교차하여 일관성의 추가 요소를 나타내는 것을 관찰할 수 있다. 이 일관성은 라이트 필드 디스플레이를 위한 고성능 대화형 렌더링 시스템을 생성하기 위해 구조화된 형태로 이용될 수 있다고 제안된다. 출력 라이트 필드의 부분적으로 렌더링된 형태의 구조화된 중간 버퍼를 버퍼링함으로써 이러한 일관성이 어떻게 활용될 수 있는지 보여준다. 이 버퍼는 여기에서 라이트 필드 표면 버퍼 또는 표면 버퍼라고 한다. 이 버퍼의 픽셀에는 색상, 깊이, 표면 좌표, 법선, 재료 값, 투명도 값 및 기타 가능한 장면 정보와 같은 추가 픽셀 정보도 포함될 수 있다.
- [0161] 기존의 2D 렌더링 광선 추적 파이프라인을 효과적으로 사용하여 표면 버퍼를 효율적으로 렌더링할 수 있음을 제안한다. 표면 버퍼는 어떤 픽셀이 표면 버퍼를 구성할지를 지정하는 여기에서 제시된 바와 같이 레이어화된 장면 분해 및 샘플링 방식의 개념에 기초한다. 이 사양에 제시된 분석에 기초하여, 데이터 압축 방식의 한 형태로 나타낼 수 있기 때문에, 적절하게 선택된 레이어화된 장면 분해 및 샘플링 방식으로 결과 표면 버퍼가 원하는 렌더링된 출력 라이트 필드 이미지 프레임보다 적은 픽셀을 포함하도록 결정할 수 있다.
- [0162] 더욱이, 적절하게 선택된 레이어화된 장면 분해 및 샘플링 방식은 표적화된 라이트 필드 카메라 뷰의 임의의 호겔에서 볼 수 있는 장면의 모든 표면 영역의 샘플을 포함하는 표면 버퍼를 생성한다. 이러한 표면 버퍼는 각 레이어 및 레이어 하위 색선과 관련된 라이트 필드의 재구성을 가능하게 하는 데이터를 포함한다. 재구성되면 이 라이트 필드는 이 문서의 다른 부분에 설명된 대로 원하는 렌더링 출력을 나타내는 단일 라이트 필드 이미지로 병합될 수 있다.
- [0163] 결과적인 표면 버퍼가 더 작은 서브셋으로 분할될 수 있다는 것이 더 제안된다. 이러한 분할은 표면 버퍼 데이터의 각 부분집합이 그 자체로 결과 출력 라이트 필드의 일부를 재구성하는 데 사용될 수 있는 방식으로 발생할 수 있다. 하나의 실제적인 실시예는 크기가 ΔEI 함수를 기반으로 하는 레이어 및 하위 색선을 분할한 다음 파

티션당 적은 수(예: 4)의 요소 이미지를 포함하는 샘플링 방식을 선택하는 것을 포함하고, 그런 다음 파티션 내에서 샘플링되지 않은 요소 이미지를 재구성하는 데 사용된다. 이 분할이 적절하게 선택되면 표면 버퍼의 서브 세트를 더 빠른 캐시 메모리로 로드할 수 있으며, 더 느린 시스템 메모리에서 반복되는 로드 의존하지 않고 재구성 및 병합 계산을 수행할 수 있다.

[0164] 따라서 요약하면, 대화형 속도로 라이트 필드 비디오를 렌더링하는 효율적인 방법은 원하는 출력 라이트 필드 이미지의 해당 부분을 생성하기 위해 장면의 3D 설명으로 시작하여, 표면 버퍼의 파티션을 버퍼링하고, 표면 버퍼를 렌더링한 다음 캐시된 개인에서 레이어와 하위 섹션을 재구성하여, 최종 출력 프레임을 렌더링하는 것으로 설명될 수 있다. 렌더링이 이러한 형식으로 구성되는 경우 기존의 여러 2D 렌더링 패스로 라이트 필드 렌더링을 수행하는 무차별 대입 방법론을 적용하는 것과는 달리, 캐시 메모리가 표면 버퍼의 파티셔닝에 의해 구조화된 방식으로 이용될 수 있기 때문에 덜 느린 메모리 대역폭이 필요하다.

[0165] *뷰 독립 래스터화*

[0166] Maars et al은 뷰 독립 래스터화를 사용하여 일반화된 다중 뷰 렌더링 기술을 제시했다. 포인트 생성 후 포인트 표현을 사용하여 여러 뷰를 병렬로 렌더링한다. a) VIR의 픽셀 셰이더 단계에 직접 포인트를 스트리밍하거나, b) 포인트를 별도의 버퍼에 저장하고 GPU 컴퓨팅 스레드를 디스패치하여 포인트 렌더링을 수행한다 (도 4 참조). 본원의 간단한 포인트 렌더링 커널은 포인트의 세계 공간 위치를 읽은 다음 각 뷰에 대해 해당 뷰 투영 행렬을 적용하고 투영된 위치를 뷰 버퍼의 가장 가까운 인접 픽셀에 스냅하고 z 버퍼링을 수행한다. 원자 함수(atomic functions)는 동일한 텍셀에 투영되는 여러 지점으로 인해 발생하는 경쟁 조건을 해결한다.

[0167] Maars et al에 의해 개시된 기법의 남아있는 과제는 품질 및 속도와 관련이 있다. 레이어에 대한 뷰 독립 래스터화의 구현, 또는 장면의 3차원 설명의 서브세트는 장면에 있는 객체의 지오메트리에 기초하여 대표하는 하나 이상의 폴리곤을 획득하는 것을 포함할 수 있다. 뷰 독립 표현은 이러한 폴리곤 중 하나 이상을 기반으로 생성된다. 생성된 뷰 독립 표현은 압축된 두 번째 데이터 세트의 일부로 인코딩된다.

[0168] 도 17은 컴퓨터 구현 방법을 나타내고, 상기 방법은,

[0169] 장면의 3차원 설명을 포함하는 제1 데이터 세트를 수신하는 단계 (420);

[0170] 상기 제1 데이터 세트를 기준 위치에 대한 위치에서 상기 장면의 일부를 각각 표현하는 복수의 레이어들로 파티셔닝하는 단계 (429);

[0171] 상기 복수의 레이어들의 각각에 대해, 상기 장면에서 객체의 대응하는 부분을 표현하는 하나 이상의 폴리곤을 획득하는 단계 (430);

[0172] 상기 하나 이상의 폴리곤에 기초하여 뷰-독립적 표현(view-independent representation)을 결정하는 단계 (431); 및

[0173] 상기 뷰-독립적 표현을 제2 데이터 세트의 일부로서 인코딩하는 단계를 포함하고, 상기 제2 데이터 세트의 크기는 상기 제1 데이터 세트의 크기보다 작은 것(432)을 특징으로 한다.

[0174] *라이트 필드 디스플레이를 위한 데이터 압축*

[0175] Piao 등은 데이터에서 중복을 식별하기 위해 라이트 필드의 우선적인 물리적 특성을 이용한다. 중복은 공간의 인접 지점을 나타내는 요소 이미지가 중요한 중복 정보를 포함한다는 관찰에 기초하여 요소 이미지를 폐기하는데 사용된다. 이는 폐기할 정보를 식별하기 위해 계산적으로 복잡한 데이터 변환을 수행하지 않는다. 이러한 방법은 각 요소 이미지와 관련된 깊이 맵 정보를 이용하지 않는다.

[0176] Graziosi 등의 "Compression for Full-Parallax Light Field Displays"는 라이트 필드 중복을 감소시키기 위해 간단한 핀홀 카메라 커버리지 지오메트리(pinhole camera coverage geometry)에 기초하여 요소 이미지를 서브 샘플링하는 기준을 제안한다. Graziosi 등이 교시하는 다운 샘플링 기술은 2차원 이미지 및 비디오 데이터를 위한 다른 코덱 방식에서 종종 사용되는 복잡한 기초 분해보다 간단하다. 객체가 장면 내 깊숙한 곳에 위치한 경우, 라이트 필드는 더 작은 비율로 샘플링된다. 예를 들어, 2 개의 분리된 핀홀 카메라가 2 개의 다른 시야를 제공하는 경우 하나의 요소 이미지와 다음 요소 이미지와의 차이가 거의 없으며, 2 개의 핀홀 카메라로부터의 시야가 중첩된다. 뷰는 지오메트리(삼각형) 중첩을 기반으로 서브 샘플링되지만, 뷰 내의 픽셀은 압축되지 않는다. 이러한 픽셀은 상당할 수 있기 때문에 Graziosi 등은 표준 2차원 이미지 압축 기술로 픽셀을 압축한다.

[0177] Graziosi 등은 다음과 같이 계산될 수 있는 객체 d의 최소 깊이에 기초한 요소 이미지 사이의 샘플링 갭(ΔEI)

을 교시하며, 여기서 θ 는 라이트 필드 디스플레이의 시야를 나타내고 P 는 일체형 이미징 디스플레이의 렌즈 피치를 나타낸다:

$$\Delta EI = \frac{(2d)\tan(\theta/2)}{P}$$

[0178]

[0179]

이 전략은 이미지 폐색이 없을 때 전면-평행 평면 표면(fronto-parallel planar surface)에 이론적으로 무손실 압축을 제공한다. 공식에 표시된 바와 같이, 샘플링 갭은 d 와 함께 증가하여, 어 적은 수의 요소 이미지가 필요한 경우 향상된 압축률을 제공한다. 충분히 작은 d 에 대해, ΔEI 는 0에 도달할 수 있다. 따라서, 이 다운 샘플링 기술은 보장된 압축률을 제공하지 않는다. 객체가 화면에 가까워지거나 화면 거리에 있는 다수의 작은 객체가 있는 장면에서 각 요소 이미지에는 0 깊이에서 적어도 일부 픽셀이 있으며 이 기술은 통합 이미지 전체적으로 게인, 즉 ΔEI 는 0을 제공하지 않는다.

[0180]

Graziosi 등은 렌더링 프로세서를 초기 인코딩 프로세스와 동일시한다(equate). 모든 요소 이미지를 생성하는 대신, 이 방법은 정보의 손실을 최소화하면서 라이트 필드를 재구성하는데 필요한 수만 생성한다. 깊이 맵은 인코딩을 위해 선택된 요소 이미지에 포함되며, 누락된 요소 이미지는 깊이 이미지 기반 렌더링(DIBR)과 관련된 잘 확립된 워핑 기술을 사용하여 재구성된다. 선택된 요소 이미지는 H.264/AVC 방법과 유사한 방법을 사용하여 추가로 압축되고 이미지는 최종 DIBR 기반 디코딩 단계 전에 압축 해제된다. 이 방법은 합리적인 신호 왜곡 레벨로 향상된 압축률을 제공하지만 시간 기반 성능 결과는 제공되지 않는다. 이러한 인코딩 및 디코딩은 높은 대역폭 속도(bandwidth rate)에서 양호한 낮은 지연 성능(low-latency performance)을 제공할 수 없다. 또한, 이 방법은 디스플레이 화면에서 멀리 떨어진 단일 객체에 사용하도록 제한된다. 다수의 중첩하는 객체가 있고 디스플레이 화면에 많은 객체가 가까이 있는 장면에서, 압축은 H.264/AVC 스타일 인코딩을 사용하도록 다시 강제(forced back)된다.

[0181]

Chai는 특정 장면 깊이에서 전면-평행 평면 객체를 나타내는데 필요한 각 대역폭(angular bandwidth)의 양을 결정하기 위한 플렌옵틱 샘플링 이론을 교시한다. Zwicker 등은 디스플레이의 피사계 심도가 각 해상도를 기반으로 하며, 더 높은 해상도는 더 큰 피사계 심도를 제공하는 것을 교시한다. 따라서, 디스플레이 화면에 가까운 객체는 낮은 각 해상도로 적절하게 표현되는 반면 멀리있는 객체는 더 큰 각 해상도를 필요로 한다. Zwicker 등은 다음의 평면 파라미터화를 기반으로 이상적인 투사 렌즈로 최대 디스플레이 피사계 심도를 교시한다:

$$Z_{DOF} = \frac{fP_l}{P_p}$$

[0182]

[0183]

여기서 P_l 은 렌즈 피치이며, P_p 는 픽셀 피치이며, f 는 렌즈의 초점 길이이다. 등방성 각 해상도(즉, $N = N_u = N_v$)를 갖는 3차원 디스플레이에서, $N = P_l/P_p$ 이다. 따라서, $Z_{DOF} = fN$ 이다.

[0184]

주어진 깊이 d 에서 디스플레이의 전체 공간 해상도를 나타내는데 필요한 각 해상도를 결정하기 위해 방정식은 다음과 같이 재배열된다:

$$N_{res}(d) = \frac{d}{f}$$

[0185]

[0186]

따라서, 장면으로의 각각의 초점 길이 거리는 디스플레이 스크린의 주어진 공간 해상도에서 객체를 완전히 나타내는데 필요한 각 해상도의 다른 픽셀을 추가한다.

[0187]

레이어화된 장면 분해 및 샘플링 방식

[0188]

Graziosi 등이 교시하는 샘플링 간격 및 Zwicker 등이 교시하는 플렌옵틱 샘플링 이론은 상보적인(complimentary) 라이트 필드 샘플링 전략을 제공한다: Graziosi 등은 원거리 객체(ΔEI)에 대한 다운 샘플링을 증가시키며 Zwicker 등은 가까운 객체(N_{res})에 대한 다운 샘플링을 증가시킨다. 그러나 장면을 나타내는 단일 라이트 필드를 다운 샘플링할 때, 이러한 전략의 조합이 압축을 보장하지는 않는다. 따라서, 본 개시는 다차원 장면을 복수의 레이어로 분할한다. 복수의 (데이터) 레이어로의 이 분할은 본 명세서에서 레이어화된 장면 분해로서 지칭된다. K_1 과 K_2 가 자연수인 경우, 본원은 $L = (K_1, K_2, L^O, L^P)$ 로 정의하여, 3차원 디스플레이의 내부 및 외부 절두체 부피를 파티셔닝한다. 내부 절두체는 K_1 레이어의 세트로 분할되며, 여기서 $L^O = \{l_1^O, l_2^O, \dots, l_{K_1}^O\}$ 이다. 각각의 내부 절두체 레이어는 디스플레이 표면 평면으로부터 $1 \leq i \leq K_1$ 의 경우 거리

$d_{min}(l_i^P)$ 및 $d_{max}(l_i^P)$ 에서 디스플레이 표면에 평행한 한 쌍의 경계 평면(bounding plane)에 의해 정의된다. 외부 절두체는 K_2 레이어의 세트로 분할되며, 여기서 $L^P = \{l_1^P, l_2^P \dots l_{K_2}^P\}$ 이다. 각각의 외부 절두체 레이어는 디스플레이 표면 평면으로부터 $1 \leq i \leq K_2$ 의 경우 거리 $d_{min}(l_i^P)$ 및 $d_{max}(l_i^P)$ 에서 디스플레이 표면에 평행한 한 쌍의 경계 평면에 의해 정의된다. 대안적인 실시예에서, 내부 및 외부 절두체 부피는 서로 다른 레이어화 방식에 의해 분할될 수 있다.

[0189] 레이어화된 장면 분해 레이어 각각은 레이어의 평면 경계 영역에 대한 장면 제한(scene restriction)에 기초하여 연관된 라이트 필드(여기서는 "라이트 필드 레이어"이라고도 함)를 갖는다. 내부 절두체 레이어 $1 \leq i \leq K_1$ 의 경우 $l_i^P \in L^P$ 또는 외부 절두체 레이어 $1 \leq j \leq K_2$ 의 경우 $l_j^O \in L^O$ 을 갖는 라이트 필드 디스플레이 $D = (M_x, M_y, N_u, N_v, f, \alpha, D_{LP})$ 에 대한 레이어화된 장면 분해 $L = (K_1, K_2, L^O, L^P)$ 를 고려하자. 내부 절두체 라이트 필드 $LF_{i_i}^O$ 는 일 반화된 핀홀 카메라의 세트 $O = \{C_a(x, y) | 1 \leq x \leq M_x, 1 \leq y \leq M_y\}$ 로부터 생성된다. 이 방정식은 $d_{min}(l_i^P) \leq d \leq d_{max}(l_i^P)$ 인 라이트 필드 디스플레이 표면으로부터의 거리 d에서의 공간만이 이미지화되도록 제한된다. 따라서, 고정된 x, y 및 $C_a(x, y) \in O$ 을 갖는 내부 절두체 레이어에 대해 본원은 $LF_{i_i}^O(x, y, u, v) = I_{C_a(x, y)}$ 를 계 산한다. 유사하게, 외부 절두체 라이트 필드 $LF_{i_i}^P$ 는 일반화된 핀홀 카메라의 세트 $O^P = \{C_a^*(x, y) | 1 \leq x \leq M_x, 1 \leq y \leq M_y\}$ 로부터 생성된다. 이 방정식은 $d_{min}(l_i^P) \leq d \leq d_{max}(l_i^P)$ 인 라이트 필드 디스플레이 표면으로부터의 거리 d에서의 공간만이 이미지화되도록 제한된다. 따라서, 고정된 x, y 및 $C_a(x, y) \in P$ 를 갖는 외부 절두체 레이어에 대해 본원은 $LF_{i_i}^P = I_{C_a(x, y)}$ 를 계산한다.

[0190] 레이어화된 장면 분해(L)에 대한 내부 및 외부 절두체 영역에 대한 라이트 필드의 세트가 추가로 정의될 수 있다. 레이어화된 장면 분해 $L = (K_1, K_2, L^O, L^P)$ 를 갖는 라이트 필드 디스플레이 $D = (M_x, M_y, N_u, N_v, f, \alpha, D_{LP})$ 를 가정하자. 내부 절두체 영역 라이트 필드의 세트는 $O^{LF} = \{LF_{i_i}^O | 1 \leq i \leq K_1\}$ 로 정의된다. 외부 절두체 영역 라이트 필드의 세트는 $P^{LF} = \{LF_{i_i}^P | 1 \leq i \leq K_2\}$ 로 정의된다.

[0191] 정의된 바와 같이, 레이어화된 장면 분해는 각각의 레이어에 대한 라이트 필드를 생성한다. 레이어화된 장면 분해의 경우, 오소스코픽 카메라는 내부 절두체 부피 라이트 필드를 생성하고 슈도스코픽 카메라는 외부 절두체 부피 라이트 필드를 생성한다. 이러한 일반화된 핀홀 카메라 쌍에 의해 캡처된 장면이 불투명한 표면만으로 구성되는 경우, 라이트 필드의 각 지점은 일반화된 핀홀 카메라 평면에서 이미지화된 공간의 대응하는 지점까지의 거리를 나타내는 관련 깊이값을 갖는다. 라이트 필드 $LF_{i_i}^O \in O^{LF}$ 또는 $LF_{i_j}^P \in P^{LF}$ 가 주어질 때, 깊이 맵 $LF_{i_i}^O$ 은 공식적으로 $D_m[LF_{i_i}^O](x, y, u, v)$ 로 정의되며, 깊이 맵 $LF_{i_i}^P$ 은 공식적으로 $D_m[LF_{i_i}^P](x, y, u, v)$ 로 정의된다. 깊이 맵 $D_m = \infty$ 는 관련 이미징 일반화된 핀홀 카메라 광선에 대응하는 표면 교차점이 존재하지 않는다. 그의 도메인에 걸쳐 $d_{min}(l_i^P) \leq D_m[LF_{i_i}^P](x, y, u, v) \leq d_{max}(l_i^P)$ 및 $d_{min}(l_i^O) \leq D_m[LF_{i_i}^O](x, y, u, v) \leq d_{max}(l_i^O)$ 이다. 다시 말하면, 레이어화된 장면 분해 레이어의 라이트 필드와 관련된 깊이 맵은 레이어 자체의 깊이 경계에 의해 제한된다.

[0192] 병합 연산(merging operation)은 레이어화된 장면 분해 레이어 세트를 내부 및 외부 절두체 부피 또는 LF_0 및 LF_P 로 다시 결합할 수 있다. 내부 및 외부 절두체 부피 라이트 필드는 병합 연산자 $*$ 으로 병합된다. 예를 들어, 2 개의 임의의 라이트 필드 $LF_1(x, y, u, v)$ 및 $LF_2(x, y, u, v)$ 가 주어지고, 여기서 $i = \operatorname{argmin}_{j \in \{1, 2\}} D_m[LF_j](x, y, u, v)$ 이고, $*$ 은 다음과 같이 정의된다:

[0193] $LF_1(x, y, u, v) *_{\infty} LF_2(x, y, u, v) = LF_i(x, y, u, v)$

[0194] 따라서, $LF_0(x, y, u, v)$ 및 $LF_P(x, y, u, v)$ 는 내부 및 외부 절두체 레이어와 연관된 라이트 필드를 병합함으로써 세트 O^{LF} 및 P^{LF} 로부터 복구될 수 있다. 예를 들어,

$$[0195] \quad LF_O = LF_{i_1^O} * mLF_{i_2^O} * m... * mLF_{i_{K_1}^O}$$

$$[0196] \quad LF_P = LF_{i_1^P} * mLF_{i_2^P} * m... * mLF_{i_{K_1}^P}$$

[0197] 본 개시는 레이어화된 장면 분해 연산 및 상기 분해를 역으로 하기 위해 데이터를 병합하는 역 연산(inverse operation)을 제공한다. K 개의 레이어로 레이어화된 장면 분해를 수행하는 것은 K 개의 많은 개별 라이트 필드를 생성하는 것으로 이해된다. 레이어화된 장면 분해의 값은 레이어에 의해 유도된 라이트 필드에 있으며; 이러한 라이트 필드 레이어는, 적절한 샘플링 방식을 갖는 다수의 다운 샘플링된 레이어화된 장면 분해 라이트 필드 레이어에 필요한 총 데이터 사이즈가 원래 라이트 필드의 사이즈보다 상당히 작기 때문에, 원래 총 라이트 필드 또는 내부 절두체 부피 또는 외부 절두체 부피 라이트 필드보다 다운 샘플링에 더 적합하다.

[0198] 본 개시가 속하는 분야의 숙련된 기술자는 라이트 필드를 성공적으로 샘플링할 수 있는 다수의 유형의 샘플링 방식이 있음을 이해할 것이다. 제공된 샘플링 방식(S)은 본 개시의 범위 및 사상을 제한하거나 벗어나도록 의도되지 않으며, 레이어화된 장면 분해 레이어 라이트 필드에서 각 요소 이미지에 대한 개별 샘플링 레이트를 특정하는 것 과 같은 다른 샘플링 방식이 사용될 수 있다. 상대적으로 간단한 샘플링 방식은 더 큰 샘플링 체어를 갖는 효과 적인 코덱을 제공할 수 있으므로, 본 개시는 본 개시의 범위 및 사상을 제한하거나 벗어나지 않으면서 본 개시를 설명하기 위한 간단한 샘플링 방식을 제공한다

[0199] 본 개시에 따라 제공되는 라이트 필드 샘플링 방식은 라이트 필드 인코딩 방법을 나타낸다. 디스플레이 $D = (M_x, M_y, N_u, N_v, f, \alpha, D_{LP})$ 및 레이어화된 장면 분해 $L = (K_1, K_2, L^O, L^P)$ 가 주어지면, 본 개시는 L^O 또는 L^P 에서 임의의 레이어 l_i 와 관련된 $M_x \times M_y$ 이진 매트릭스 $M_S[l_i]$ 및 각 레이어 l_i 를 $R(l_i) = (n_x, n_y)$ 쌍에 맵핑하기 위한 맵핑 함수 $R(l_i)$ 로서 L과 관련된 샘플링 방식(S)을 제공한다. (x_m, y_m) 에서 $M_S[l_i]$ 의 이진 $\{0, 1\}$ 항목은 요소 이미지가 샘플링 방식에 포함되는지 여부를 나타낸다: (1)은 $LF_{l_i}(x_m, y_m, u, v)$ 가 포함되어 있음을 나타내고 (0)은 $LF_{l_i}(x_m, y_m, u, v)$ 가 포함되지 않음을 나타낸다. $R(l_i) = (n_x, n_y)$ 는 라이트 필드의 요소 이미지가 $n_x \times n_y$ 의 해상도에서 샘플링됨을 나타낸다.

[0200] 본 개시는 또한 플렌옵틱 샘플링 이론에 기초하여 드로잉하는 레이어화된 장면 분해 라이트 필드 인코딩 프로세스를 제공한다. 이하의 설명은 레이어화된 장면 분해(L)의 내부 절두체 부피(L^O)에 관한 것이지만, 외부 절두체 부피(L^P)는 유사한 방식으로 인코딩될 수 있다.

[0201] 각각의 $l_i \in L^O$ 에 대해, 대응하는 라이트 필드의 깊이 맵은 $d_{min}(l_i^O) \leq d \leq d_{max}(l_i^O)$ 의 범위에서 d로 제한된다. 상기 제시된 샘플링 방식에 기초하여, 본 개시는 $M_S[l_i^O]$ 의 생성을 가이드하기 위해 다음 방정식을 사용하여 샘플링 방식(S)을 생성한다:

$$[0202] \quad \Delta EI(d_{min}(l_i^O)) = \frac{(2d_{min}(l_i^O))\tan(\theta/2)}{D_{LP}}$$

[0203] 다시 말해, ΔEI 는 각각의 레이어화된 장면 분해 레이어와 관련된 M_S 매트릭스에서 "1" 엔트리 사이의 거리를 가이드한다. 다음 방정식은 레이어에서 개별 요소 이미지의 해상도 $R(l_i^O) = \frac{d_{max}(l_i^O)}{f}, \frac{d_{max}(l_i^O)}{f}$ 를 설정한다:

$$[0204] \quad N_{res}(d_{max}(l_i^O)) = \frac{d_{max}(l_i^O)}{f}$$

[0205] 개별 레이어화된 장면 분해 레이어 샘플링 레이트를 구동하기 위해 ΔEI 및 N_{res} 를 모두 사용하는 이 샘플링 방식은 레이어화된 플렌옵틱 샘플링 이론 샘플링 방식(본 명세서에서는 "플렌옵틱 샘플링 방식"으로 지칭됨)으로

간주될 수 있다. 이 플레넵틱 샘플링 방식은 플레넵틱 샘플링 이론 아이덴티티 함수 $\alpha(t)=t$ 를 이용하는 디스플레이에 기초한다. 이 레이어별(per-layer) 샘플링 방식은 레이어 내의 객체가 서로를 폐색하지 않는 전면-평행 평면 장면 객체에 무손실 압축을 제공한다.

[0206] 전면-평행 평면 장면 객체만의 가정은 제한적이고 일반적인 장면을 나타내지 않으며; 불가피하게, 특히 사이즈가 더 큰 레이어화된 장면 분해 레이어에 대한 레이어내 폐색(intra-layer occlusion)이 존재한다. 상당한 인지 가능한 아티팩트를 도입하지 않고 전체 범위의 잠재적 장면을 캡처 및 인코딩하기 위해, 시스템은 본 개시의 라이트 필드 플레넵틱 샘플링 방식에 추가하여 정보를 드로잉할 수 있다.

[0207] 예를 들어, 표면은 다양한 경사 각도에서 평면 표면에 의해 국부적으로 근사화된다(approximated). Do 등의 "On the bandwidth of the plenoptic function"에서는 타임 워핑 기술을 이론화하여 경사 라이트 필드 디스플레이 평면의 스펙트럼 특성화를 허용한다. 이 연구는 다운 샘플링의 필요한 감소와 로컬 대역폭 변화의 정확한 특성화의 필요성이 표면 경사의 정도, 장면 내의 객체의 깊이 및 FOV에서의 객체의 위치에 의해 유발됨을 시사한다. 따라서, 전방-평행 지오메트리 편차로부터의 신호 왜곡이 지각적으로 유의미하다면, 잔류 표현은 발생하는 손실을 보상하기 위해 추가적인 또는 보충적인 요소 이미지 데이터(정적 샘플링 방식을 동적으로 변경)를 적응적으로 전송(adaptively send)할 수 있다.

[0208] 따라서, 본 개시는 코덱에 의한 라이트 필드를 인코딩 및 디코딩하기 위한 "코어" 또는 "잔류" 정보로서의 식별을 제공한다. 관련 샘플링 방식(S)을 갖는 라이트 필드 디스플레이(D) 및 대응하는 레이어화된 장면 분해(L)가 주어지면, 본 개시는 L 및 S와 관련된 인코딩된 다운 샘플링된 라이트 필드뿐만 아니라 코덱에 의해 인코딩 및 디코딩된 라이트 필드의 "코어" 표현으로서 레이어화된 장면 분해 레이어의 수 및 상기 레이어의 깊이를 고려한다. 디코딩 프로세스 동안 요구될 수 있는 라이트 필드의 코어(인코딩된) 표현과 함께 전송되는 임의의 추가 정보는 코덱에 의해 처리될 라이트 필드의 "잔류" 표현으로 간주되고 표시되는 최종 라이트 필드를 생성하기 위해 라이트 필드 코어 표현과 함께 사용된다.

[0209] 위에 정의된 프레임워크에서 정의될 수 있는 많은 레이어화된 장면 분해 및 샘플링 방식은 병합되고 원래의 라이트 필드가 재구성된 후에도 폐색(occlusion)들로 인한 홀 문제를 여전히 나타낼 수 있다. 별도의 레이어에 있는 객체 사이에서 발생하는 객체 폐색이 재구성 후 홀로 이어지지 않는다는 관찰이다. 그러나 동일한 레이어 내에 있는 서로를 폐색하는(occlude) 객체들은 특히 특정 샘플링 방식의 경우 홀로 유도될 수 있다.

[0210] 구체적으로 말하자면, 특정 레이어 내의 샘플링이 샘플링된 요소 이미지 사이의 간격이 크도록 하는 경우 가려진 개체가 과소 표현되어 홀이 생길 가능성이 높다. 이에 대한 한 가지 솔루션은 단순히 더 높은 속도로 요소 이미지를 샘플링하는 것이다. 그러나 샘플링 레이트가 높을수록 압축 속도가 낮아진다. 따라서 더 많은 요소 이미지를 추가하면 중요한 중복 정보가 포함될 수 있다. 필요한 것은 전체 표현의 중복에 기여하지 않으면서 홀을 채우는 데 도움이 되는 추가 정보를 포함할 수 있는 보다 식별 가능한 방법이다. 예를 들어, 레이어화된 장면 분해를 고려한다:

[0211]
$$L = (K_1, K_2, L^o, L^p)$$

[0212] L^o 또는 L^p 에서 각각의 레이어 l_i 에 대하여, 본원은 잔여 레이어들의 세트를 정의할 수 있다.

[0213]
$$R(l_i) = \{r(l_i)(j) | 1 \leq j \leq K_i\}$$

[0214] 여기서 K_i 는 레이어 l_i 에 필요한 잔여 레이어의 수를 설명하는 자연수이다. 레이어화된 장면 분해 레이어와 같이 각 잔여 레이어에 대해 레이어와 관련된 라이트 필드가 있다:

[0215]
$$LF_{r(l_i)j}$$

[0216] 가장 일반적인 설명으로, 이러한 추가 레이어는 추가 제한 없이 자유 형태일 수 있다. 실제로 폐색을 처리하는 데 도움이 될 수 있는 추가 정보는 이러한 잔여 레이어에 표시된다. 이를 구현하는 한 가지 방법은 잔여 레이어가 상위 레이어화된 장면 분해 레이어와 동일한 샘플링 방식을 갖도록 하는 것이지만 가능한 한 변형은 LSD 플러스 잔류 레이어 조합의 압축 속도를 엄격하게 제어하기 위해 더 낮은 방향 해상도로 잔여 레이어를 샘플링하는 것일 수 있다.

- [0217] 구체적으로, 잔여 레이어는 Deep G-Buffers의 개념에 대응하는 추가 레이어로 정의될 수 있다. 따라서:
- [0218]
$$D_m[LF_{i_1}](x, y, u, v) < D_m[LF_{r(i_1)}](x, y, u, v) < \dots < D_m[LF_{r(i_k)}](x, y, u, v)$$
- [0219] 이 경우, 레지듀얼 레이어는 레이어드 썬 분해 레이어 방식의 미리 결정된 깊이 분할에 의해 각 레이어의 깊이 범위가 고정되지 않는다는 점에서 레이어드 썬 분해 레이어와 대조되지만 표현되는 장면의 지오메트리에 고유한 깊이 레이어 특성을 기반으로 한다.
- [0220] 레이어화된 깊이 이미지
- [0221] 폐색 문제가 존재하는 뷰 합성(DIBR)을 사용하여 깊이로 샘플링된 요소 이미지에서 라이트 필드를 재생성하는 이전에 알려진 방법이 있다. 오브젝트가 충분한 깊이 복잡도를 갖는 장면의 경우 라이트 필드의 요소 이미지를 서브샘플링할 때 일부 장면 오브젝트에 대한 정보가 캡처되지 않을 가능성이 있다. 일반적으로 표면은 표면 폐색으로 인해 다양한 각도에 걸쳐 숨겨져 있기 때문에 캡처되지 않는다. 이 경우 합성된 뷰는 샘플링된 뷰에서 표면이 캡처되지 않은 홀을 표시한다.
- [0222] 레이어화된 장면 분해의 맥락에서 뷰 합성의 경우, 폐색 객체 또는 표면 단편이 동일한 레이어 내에 함께 위치하는 경우 폐색으로 인한 문제만 있을 것이다.
- [0223] 이전 연구에서, 컴퓨터 그래픽 연구자들은 샘플링되지 않은 시점에서 볼 수 있는 가려진 정보를 여전히 캡처하면서 샘플링된 시점으로 장면을 표현하는 방법을 고려하였다. 컴퓨터 그래픽에서 지오메트리 버퍼(G-buffer)는 특정 카메라 시점과 관련하여 렌더링된 색상, 법선 및 깊이 정보를 저장하는 이미지 버퍼에 지정된 명칭이다. Mara et. al.은 정보를 캡처하기 위해 컴퓨터 그래픽에 대한 전역 라이트 계산의 맥락에서 레이어화된 깊이 이미지를 렌더링하는 깊은 G 버퍼의 아이디어를 제안하였다. 이 작업에서는 각각의 레이어화된 깊이 이미지에 대해 법선, 색상 및 깊이 값도 저장되었다. 제안된 데이터 구조는 deep G-buffer에 의해 제공되는 추가 폐색 정보의 사용을 기반으로 라이트 계산의 품질을 향상시키기 위해 기존 화면 공간 기술(표준 G-buffer 사용)에 대한 추가 지오메트리 정보를 제공하는 데 사용할 수 있다.
- [0224] 선택된 레이어 또는 서브세트의 수는 가려진 정보의 더 풍부한 표현을 허용하며, 달성된 증가된 시각적 품질에 대한 수익 감소 및 실질적인 한계에 기초하여 선택되는 적은 수로 일반적으로 선택된다. 이 작업은 또한 기준 위치와 관련하여 다른 위치에서 장면의 다른 부분을 나타내는 레이어 또는 서브세트 간의 최소 분리 거리의 제약을 적용하여 최종 이미지 품질에 유용하게 기여하지 않는 사소한 후면 폐색 표면(trivial back-face occlusion surfaces)을 나타내는 레이어를 갖는 것을 방지한다는 아이디어를 도입한다.
- [0225] 레이어화된 장면 분해 레이어 또는 서브세트 내에서 각각의 샘플링된 요소 이미지, 서브섹션에 대해 깊은 기하 구조 버퍼가 렌더링될 수 있다고 제안된다. 따라서, 각 서브세트 내의 각 레이어 또는 서브세트, 및 각 요소 이미지 또는 서브섹션에 대해, 레이어화된 깊이 이미지 레이어 세트 또는 복수의 서브섹션이 있을 것이다. 다른 입력으로서 최소 분리 거리 파라미터에 의해 정의된 레이어 깊이와 함께, 장면 내에 표현된 객체의 적어도 일부의 기하구조에 따라 결정된, 레이어의 일부 입력 파라미터 수에 기초한다.
- [0226] 도 14는 컴퓨터 구현 방법을 나타내고, 상기 방법은,
- [0227] 장면의 3차원 설명을 포함하는 제1 데이터 세트를 수신하는 단계 (420);
- [0228] 상기 제1 데이터 세트를 기준 위치에 대해 다른 위치에서 상기 장면의 다른 부분을 각각 표현하는 복수의 레이어들로 파티셔닝하는 단계 (429);
- [0229] 상기 레이어들 중 적어도 하나에 대응하는 데이터를 복수의 서브섹션들로 파티셔닝하는 단계 - 특정 서브섹션의 위치는 상기 장면 내에 표현된 객체의 적어도 일부의 지오메트리(geometry)에 따라 결정(435)됨 -; 및
- [0230] 제2 데이터 세트를 생성하기 위해 다중 레이어들 및 다중 서브섹션들을 인코딩하는 단계를 포함하고, 상기 제2 데이터 세트의 크기는 상기 제1 데이터 세트의 크기보다 작은 것(424)을 특징으로 한다
- [0231] 레이어 기반 압축 분석
- [0232] 다운 샘플링 기준(달성가능한 압축률을 나타내지 않음)과 함께 실시간 렌더링 및 전송 시스템을 생성하기 위해 예측 가능한 압축률이 요구된다. 다음은 본 개시의 레이어화된 장면 분해 인코딩 전략의 압축 분석을 제공한다.
- [0233] 이미 설명한 바와 같이, 플렌옵틱 샘플링 이론에 기초하여 라이트 필드를 다운 샘플링하는 것만으로는 보장된 압축률을 제공하지 않는다. 본 개시는 다운 샘플링 라이트 필드 인코딩 전략을 제공하여 저 지연 실시간 라이트

필드 코덱을 허용한다. 일 실시예에서, ΔEI 및 N_{res} 를 모두 사용하는 플렌옵틱 샘플링 이론에 기초한 상보적 샘플링 방식은 개별적인 레이어화된 장면 분해 레이어 샘플링 레이트를 구동하기 위해 사용된다. 총 3D 장면을 복수의 라이트 필드로 나타내는 레이어화된 장면 분해는, 레이어의 수의 팩터로 장면 표현을 확장시킨다. 본 개시는 레이어 깊이 가 적절하게 선택된 경우, 플렌옵틱 샘플링 이론 기반 다운 샘플링과 결합될 때 압축률이 보장될 수 있음을 추가로 고려한다.

[0234] 주어진 레이어화된 장면 분해 레이어 l_i 에 대응하는 라이트 필드 LF_{l_i} 의 경우 레이어의 제한된 깊이 범위는 레이어의 라이트 필드에 대한 보장된 압축률을 제공한다. 단일 레이어 내에 완전히 포함된 장면을 다운 샘플링하는 것으로부터 얻을 수 있는 압축률은 다음 정리에서 설명될 수 있다:

[0235] **정리 1**

[0236] 등방성 각 해상도(isotropic directional resolution) $N=N_u=N_v$, 레이어화된 장면 분해 L 및 관련된 샘플링 방식 $S = (M_s, R)$ 을 갖는 디스플레이 $D = (M_x, M_y, N_u, N_v, f, \alpha, D_{LP})$ 를 고려해보자. 대응하는 라이트 필드 LF_{l_i} 를 갖는 레이어화된 장면 분해 레이어 l_i 가 $d_{min}(l_i) < Z_{DOF}(D)$ 가 되도록 하고 "1" 엔트리 사이의 거리가 $\Delta EI(d_{min}(l_i))$ 및 $R(l_i) = N_{res}(d_{max}(l_i))$ 로 설정되기 위해 $M_s[LF_{l_i}]$ 가 선택된다고 가정해보자. 레이어화된 장면 분해 레이어 l_i 에 대한 S 와 관련된 압축률은 $1:N^2 \left(\frac{d_{min}(l_i)}{d_{max}(l_i)} \right)$ 이다

[0237] **증명 1**

[0238] 디스플레이의 최대 피사계 깊이 내에서 레이어화된 장면 분해 레이어를 고하여, 여기서 $d_{min}(l_i) = \frac{Z_{DOF}}{c}$ 및 $d_{max}(l_i) = \frac{Z_{DOF}}{d}$ 이다. 따라서, $c = \frac{Z_{DOF}}{d_{min}(l_i)}$ 및 $d = \frac{Z_{DOF}}{d_{max}(l_i)}$ 및 $d/c = \frac{d_{min}(l_i)}{d_{max}(l_i)}$ 이다. 따라서, $\Delta EI(d_{min}(l_i)) = N/c$ 및 $N_{res}(d_{max}(l_i)) = N/d$ 이다.

[0239] 이 서브 샘플링 레이트에 기초하여, 시스템은 모든 (N/c) 번째 요소 이미지를 필요로 하므로, $1:(N/c)^2$ 의 압축률을 제공한다. 요소 이미지 서브 샘플링은 $1:d^2$ 의 압축률을 제공한다. 따라서, 총 압축률은 $1:(N/c)^2 * 1:d^2 = 1:N^2 (d/c)^2$ 이다. 압축 인자 성분 $c_f = \frac{d_{min}(l_i)}{d_{max}(l_i)}$ 는 압축률을 결정한다.

[0240] $d_{min}(l_i) = Z_{DOF}$ 및 $d_{max}(l_i)$ 가 임의의 깊이로 연장할 수 있는 대안적인 경우가 있을 수 있다. 본원은 $\Delta EI(Z_{DOF}) = N$ 인 것을 알고 N_{res} 는 모든 깊이 $d \geq Z_{DOF}$ 에 대해 N 의 가능한 최대값을 얻는다. 이러한 서브 샘플링 레이트에 기초하여, 시스템은 모든 N 번째 요소 이미지를 필요로 하므로 $1:N^2$ 압축률을 갖는 라이트 필드를 제공한다. Z_{DOF} 외의 추가의 레이어화된 장면 분해 레이어를 추가하면 전방-평행 평면 객체를 표시할 때 중복 표현 기능(redundant representational capability)이 추가된다. 따라서, 코어 인코딩된 표현을 생성할 때, 전체 장면은 레이어에서 최대 피사계 심도로 최적으로 분해될 수 있다.

[0241] 레이어화된 장면 분해 레이어를 다운 샘플링하기 위한 압축 계산식이 주어지면, 본원은 레이어 파라미터가 변함에 따라 압축 인자가 어떻게 변하는지 결정할 수 있다. 고정 폭의 레이어 또는 일부 w 에 대해 $d_{max}(l_i) - d_{min}(l_i) = w$ 인 경우 $d_{max}(l_i) - d_{min}(l_i)$ 가 디스플레이 평면에 가장 근접할 때 c_f 가 최소화된다. 따라서, 디스플레이 평면에 더 가까이 위치한 레이어화된 장면 분해 레이어는 디스플레이 평면으로부터 더 멀리 위치한 레이어와 동일한 압축비를 달성하기 위해 더 좁은 폭을 필요로 한다. 이 압축률 분석은 디스플레이 평면으로부터 깊이 Z_{DOF} 까지의 공간에 위치한 다수의 인접한 전방-평행 레이어로 분할된 장면으로 확장될 수 있다.

[0242] **정리 2**

[0243] 등방성 각 해상도 $N=N_u=N_v$, 레이어화된 장면 분해 L 및 관련된 샘플링 방식 $S=(M_s, R)$ 을 갖는 디스플레이 $D=(M_x, M_y, N_u, N_v, f, \alpha, D_{LP})$ 를 고려해보자. 라이트 필드의 이미지 픽셀 수를 나타내는 $S_{LF} = M_x M_y N_u N_v$ 라 하자. 레

이어화된 장면 분해 표현의 압축률은 다음과 같이 정의될 수 있다:

$$\frac{A}{S_{LF}} = (1/N^2) \sum_{i=1}^K (1/c_f(i)^2) = (1/N^2) \sum_{i=1}^K \left(\frac{d_{max}(i)}{d_{min}(i)} \right)^2$$

중명 2

압축률로 다운 샘플링된 주어진 레이어화된 장면 분해 레이어의 경우:

$$S_{layer}(i) = \left(\frac{1}{N^2 c_f(i)^2} \right) S_{LF}$$

압축률을 계산하기 위해, 압축된 형태의 각 레이어의 사이즈가 계산되고 합산되며, 총 압축된 레이어 사이즈는 라이트 필드의 사이즈로 분할된다. 압축된 레이어의 세트의 사이즈가 다음과 같은 합을 고려해보자:

$$A = \sum_{i=1}^K \left(\frac{1}{N^2 c_f(i)^2} \right) S_{LF}$$

따라서, 결합된 레이어의 압축률은 다음과 같다:

$$\frac{A}{S_{LF}} = (1/N^2) \sum_{i=1}^K (1/c_f(i)^2) = (1/N^2) \sum_{i=1}^K \left(\frac{f + i\Delta L}{f + (i-1)\Delta L} \right)^2$$

$d_{min}(i)$ 및 $d_{max}(i)$ 가 i 번째 레이어의 전방 및 후방 경계 깊이를 나타내는 레이어화된 장면 분해 레이어의 폭이 가변적인 시스템에서, 레이어화된 장면 분해 표현의 압축률은 다음과 같다:

$$\frac{A}{S_{LF}} = (1/N^2) \sum_{i=1}^K (1/c_f(i)^2) = (1/N^2) \sum_{i=1}^K \left(\frac{d_{max}(i)}{d_{min}(i)} \right)^2$$

일정한 레이어화된 장면 분해 레이어에 대한 합 $\sum_{i=1}^K (1/c_f(i)^2)$ 은 단조 감소(monotonically decrease)하고, 1에 수렴한다.

따라서, 디스플레이 평면에 더 가까이 위치한 레이어화된 장면 분해 레이어는 디스플레이 평면으로부터 더 멀리 위치한 동일한 폭의 레이어보다 낮은 압축률을 달성한다. 효율을 최대화하기 위해, 보다 좁은 폭을 갖는 레이어화된 장면 분해 레이어가 디스플레이 평면에 더 가까이 위치되고 더 넓은 레이어화된 장면 분해 레이어는 디스플레이 평면으로부터 더 멀리 위치되며; 이 배치는 장면에 걸쳐 균일한 압축률을 유지한다.

레이어화된 장면 분해 레이어의 수와 사이즈

레이어화된 장면 분해에 필요한 레이어의 수 및 레이어의 사이즈를 결정하기 위해, $a(t)=(t)$ 항등 함수를 갖는 라이트 필드 디스플레이가 예로서 제공된다. 이 항등 함수의 고려는 다른 함수가 이용될 수 있기 때문에 본 개시의 범위 또는 사상을 제한하려는 것이 아니다. 본 개시의 속하는 분야의 숙련된 기술자는 디스플레이 $D=(M_x, M_y, N_u, N_v, f, a, D_{LP})$ 가 단일 항등 함수 a 로 정의되면서, 평면 파라미터화된 핀홀 프로젝터의 어레의 내의 각각의 라이트 필드 평면 파라미터화된 핀홀 프로젝터는 고유한 항등 함수 a 를 가질 수 있다는 것을 이해할 것이다.

정면 평면 표면을 무손실로 나타내기 위해(폐색이 없다고 가정), 깊이 Z_{Dof} 에 위치한 전면 경계를 가진 단일 레이어화된 장면 분해 레이어는 Z_{Dof} 에서 무한대까지의 시스템을 나타낸다. 코어 표현을 생성하기 위해, 라이트 필드 디스플레이의 최대 피사계 심도에 위치한 가장 깊은 레이어를 넘어서는 레이어화된 장면 분해 레이어는 고려되지 않는다. 이러한 레이어는 코어 표현 관점에서 추가적인 표현 파워를 제공하지 않기 때문이다; 이는 내부 및 외부 절두체 부피 레이어 세트 모두에 적용된다.

디스플레이 평면으로부터 디스플레이의 최대 피사계 심도(내부 및 외부 절두체 부피 레이어 모두)에 대한 영역 내에서, 레이어화된 장면 분해 레이어는 라이트 필드 디스플레이 f 값의 정수배인 최소 거리 깊이를 사용한다. 더 좁은 폭을 갖는 레이어화된 장면 분해 레이어는 더 나은 레이어별 압축률을 제공함으로써 더 나은 장면 압축률을 제공한다. 그러나, 더 많은 수의 레이어가 재구성되고 병합되어야 하기 때문에, 분해에서 더 많은 수의 레이어가 디코딩에 필요한 처리량을 증가시킨다. 따라서, 본 개시는 차등 레이어 깊이(differential layer depth)를 갖는 레이어 분포 방식을 교시한다. 일 실시예에서, 더 좁은 폭을 갖는 레이어화된 장면 분해 레이어

(및 상기 레이어들에 의해 표시된 라이트 필드의 상관관계에 의해)은 디스플레이 평면에 더 가까이 위치되고, 레이어 폭(즉, 전방 및 후방 레이어 경계 사이의 깊이 차이)은 디스플레이 평면으로부터의 거리가 증가함에 따라 기하급수적으로 증가한다.

[0260] *점근적 해상도를 기반으로 한 레이어 방향 해상도 샘플링*

[0261] 적절한 라이트 필드 코덱을 설계하기 위해 레이어화된 장면 분해를 사용할 때 두 가지 주요 질문이 있다. 하나는 장면을 서브세트(레이어)으로 분해하는 방법이다. 자연스럽게 따라오는 설계 질문은 각 레이어와 관련된 라이트 필드를 다운샘플링하는 방법이다. 다운샘플링 전략을 "샘플링 방식"이라고 한다.

[0262] 샘플링 방식을 구성하는 방법에는 여러 가지가 있을 수 있다. ΔEI 및 N_{res} 를 사용하는 본 개시물에서 제시된 플렌옵틱 샘플링 방식은 하나의 예이다. N_{res} 는 효과적인 해상도 기능의 예이다. 이론적으로 이러한 방식은 폐색이 없고 레이어 내의 모든 객체가 전면 평면(fronto-planar)인 경우 손실 없이 샘플링한다.

[0263] 기존 비디오 코덱은 완벽하게 손실되지 않고 효과적으로 사용되며 대신 손실이 발생하는 경우 존재하는 모든 아티팩트의 인식 효과를 최소화하도록 최적화된다. 따라서 유용한 라이트 필드 코덱을 설계하기 위한 실행 가능한 전략으로 지각 효과를 최소화하면서 잠재적으로 손실이 있는 다운 샘플링을 사용할 수 있는 방법을 탐구한다.

[0264] Zwicker et al이 제시한 라이트 필드 디스플레이의 피사계 심도 개념. N_{res} 플렌옵틱 샘플링 기준의 기초를 형성한다. 이 개념은 표현 이론과 라이트 필드 이미지를 구성하는 샘플의 총 대표 용량을 기반으로 한다. 총 대표 용량은 라이트 필드 디스플레이를 보는 관찰자의 맥락 밖에서 고려된다. 그런 의미에서 시청자 독립적이라고 말할 수 있다. 라이트 필드 디스플레이 및 관찰자를 위한 최적의 경험 설계 측면에서 라이트 필드의 표현 능력은 관찰자가 인식하는 이미지와 디스플레이에 대한 라이트 필드의 상대적 위치가 이미지 인식에 미치는 영향과 관련이 있다.

[0265] Zwicker가 제시한 깊이 필드의 개념은 라이트 필드에 대한 각도 해상도가 높을수록 디스플레이가 디스플레이의 전체 공간 해상도로 개체를 표시하는 더 큰 3D 디스플레이 볼륨이 생성될 것이라고 제안한다. 이 이론은 디스플레이 표면에서 최대 피사계 심도 거리를 초과하는 거리에 있는 객체에 대한 해상도의 선형 저하를 예측한다 (도 20).

[0266] 이 해상도는 뷰어와 무관하다. 본원은 관찰자와 전시의 근접성을 고려하지 않기 때문에 지나치게 보수적이라고 제안한다. 디스플레이에서 주어진 거리에 물리적 관찰자가 있는 설정을 고려한다. 샘플링 관점에서 관찰자가 디스플레이를 볼 때 관찰자가 샘플링한 각도 샘플링 레이트는 관찰자 거리의 함수이다. 이론적으로 물리적 관찰자와 디스플레이 간의 거리를 기반으로 관찰자로부터 객체까지의 거리 함수로 관찰된 해상도를 추정하는 방정식을 생성할 수 있음을 알 수 있다. 본원은 여기에 그러한 방정식의 특정 파생물(derivation)을 제시하지만, 라이트 필드 디스플레이 및 관찰자 모델의 실험적 또는 시뮬레이션 연구를 통해 관찰된 바와 같이 다른 방정식 또는 해상도 감소 모델뿐만 아니라 경험적 감소 모델도 사용할 수 있다.

[0267] 도출된 모델은 점근적 해상도가 객체에 대해 계산될 수 있음을 보여준다. 일반적으로 점근적 해상도는 관찰자 거리의 함수로 감소한다. 따라서 최대 관찰자 거리를 가정할 수 있다면 해당하는 점근적 해상도 또는 기타 관련 해상도 감소 기능을 깊이의 최악의 척도의 해상도 저하로 사용하는 것이 합리적이다.

[0268] 앞에서 설명한 N_{res} 를 사용한 플렌옵틱 샘플링 방식을 고려한다. 최소 깊이 $d_{min}(442)$ 과 최대 깊이 $d_{max}(443)$ 를 가진 레이어가 있다고 가정한다. 그런 다음 N_{res} 공식을 기반으로 $d_{max}(443)$ 는 레이어에 필요한 방향 해상도를 결정한다. Zwicker에서 피사계 심도에 대해 설명한 표현 이론의 관점에서, 해당 샘플링 레이트는 주어진 레이어의 범위 내에서 최대 해상도로 장면을 완전히 나타낸다. 이는 도 20에 표현된다.

[0269] 주어진 실제 상황에서 라이트 필드 디스플레이의 최대 뷰잉 거리를 정의하는 것이 합리적이라고 가정한다. 이 최대 가시 거리를 기반으로, 본원은 주어진 레이어에 대한 잠재적인 샘플링 방식에 대해 선택된 방향 해상도의 함수로서 연관된 감소 기능을 고려할 수 있다.

[0270] 해상도 함수는 도 20과 같이 $N_{res}(d_{max})(443)$ 에 의해 암시된 것보다 낮은 다양한 방향성 샘플링 레이트에 대해 플롯할 수 있으며 $d_{min}(442)$ 에서 $d_{max}(443)$ 까지의 깊이 범위 내에서 이상적인 값(ideal)(440)에서 어떻게 벗어나는지 고려한다. 점근 함수의 경우 편차가 더 깊은 깊이의 함수로 더 커지지만 물론 점근 값(441)을 기반으로 하는 최대값을 초과하지 않을 것임을 관찰할 수 있다. 편차는 신호 손실을 나타낸다; 그러나 수량화할 수 있으며

접근적 값을 기반으로 하는 경계가 있다. 따라서 이것은 레이어 다운샘플링 및 관련 손실을 정량화하여 LSD 기반 라이트 필드 코덱에 대한 적절한 샘플링 방식의 설계를 안내하는 측면에서 사용할 수 있는 프레임워크를 제공한다.

[0271] 장면의 3차원 설명은 복수의 서브세트로 분할되고 다중 레이어 또는 서브세트가 인코딩되어 제1 데이터 세트의 크기보다 작은 제2 데이터 세트를 생성한다. 레이어 또는 서브세트의 인코딩은 서브세트에 대한 샘플링 동작을 수행하는 것을 포함할 수 있다. 효과적인 해상도 기능은 적절한 샘플링 레이트를 결정하는 데 사용된다. 그런 다음 하위 섹션과 관련된 요소 이미지가 결정된 적절한 샘플링 레이트를 사용하여 다운샘플링된다.

[0272] 관련 연구는 피사계 심도를 분석하고 다중 광 감쇠 레이어가 있는 디스플레이에서 깊이에서 해상도가 어떻게 저하되는지 분석하는 데 중점을 두었다. 이러한 작업은 여전히 Zwicker et. al은 라이트 필드 디스플레이의 피사계 심도를 디스플레이 표면에 평행한 가상 평면이 디스플레이의 최대 공간 해상도에서 재현될 수 있는 깊이 범위로 설명한다. 그러나 이 프레임워크는 관찰자를 고려하지 않고 장면의 효과적인 직교 뷰를 기반으로 한다. 장면의 깊이에 있는 객체의 품질과 관련하여 특정 뷰어가 주어진 관점에서 라이트 필드에서 액세스할 수 있는 정보가 처리된다.

[0273] Alpaslan et. al은 다양한 광학 및 시공간 각 해상도 파라미터 측면에서 라이트 필드 디스플레이에서 거리에 따라 인지된 해상도가 어떻게 변하는지 결정하기 위한 연구를 수행하였다. 증가된 각도 해상도는 디스플레이의 깊이에서 인지된 해상도의 감소를 감소시키는 것으로 나타났다. 이러한 분석은 공간당 주기로 측정하는 진동 패턴을 기반으로 한다. 여기서 공간은 아래 방정식에서 볼 수 있듯이 디스플레이의 내부 및 외부 절두체에 있는 것이다.

[0274]
$$p = p_o + s * \tan \phi$$

[0275] 여기서 p 는 가장 작은 피쳐 크기, p_o 는 픽셀 크기, s 는 화면 깊이, ϕ 는 두 샘플 사이의 각도 거리이다. 이 공식은 간단한 지오메트리 인수와 디스플레이의 방향 광선이 각 공간에서 균일하게 분포된다는 가정을 기반으로 한다. 특징 크기가 거리에 따라 증가한다는 것을 분명히 보여주지만 이 공식은 특정 관찰자 및 관찰자가 깊이에서 해결할 수 있는 특징 크기와 무관하게 공식화된다.

[0276] 이와 대조적으로, Dodgson은 관찰자가 3D 디스플레이 앞에서 디스플레이의 각도 구성 요소의 투영 밀도에 해당하는 다양한 뷰잉 영역을 어떻게 점유할 수 있는지 분석하지만 이러한 뷰잉 영역을 깊이 있는 객체의 겉보기 품질(apparent viewing quality)과 직접 관련시키지 않는다.

[0277] 작은 피사계 심도(DoF)를 처리하는 한 가지 방법은 대상 영역에 맞게 콘텐츠를 조정하는 것이다. 이 기술은 좋은 결과를 생성하는 것처럼 보이지만 콘텐츠에 대한 일부 최적화가 포함되므로 대화형 설정에서 실시간 데이터 세트에 즉시 적용할 수 없는 것으로 보인다. 더 간단하고 고정된 방식의 크기 조정 기술은 실시간 설정에서 작동할 수 있지만 판지와 같은 허용할 수 없는 왜곡 아티팩트가 발생할 수 있다. 카드보딩은 3D 콘텐츠를 시각화할 때 발생하는 만연한 아티팩트로 정의할 수 있으며, 이는 깊이 압축으로 인해 객체가 평평하게 보이는 소위 "카드보딩" 효과이다.

[0278] 모든 표면이 Lambertian인 경우 관찰자가 핀홀 카메라라고 가정할 수 있다. 실제 사람의 눈은 다른 3D 디스플레이 뷰 시뮬레이션 작업에서 취한 접근 방식인 유한 조리개 카메라로 더 정확하게 모델링된다. 그러나 핀홀 카메라는 어떤 의미에서 유한 조리개의 경우 품질의 상한선 역할을 할 수 있으므로 단순성을 위해 사용된다. 표준 이미지가 관찰자 이미지의 기초를 형성한다고 가정한다. 따라서 이미지의 품질을 검사하기 위해 표준 광선이 고려된다. 보다 구체적으로, 정준 영상 $I_c[D, O]$ 는 일종의 업스케일링 동작을 통해 정준 영상과 연관될 수 있다고 가정한다. 표준 이미지는 왜곡된 관찰자 이미지의 샘플링된 버전이다. 연속 버전인 표준 이미지에 역 워핑 기능을 적용하면 관찰자 이미지가 제공된다. 워핑 기능은 투영 기능으로도 설명할 수 있다.

[0279] 다양한 설계 파라미터의 관점에서 3D 라이트 필드 디스플레이의 공식적인 정의를 제시하는 것이 가능하다. 일반성을 잃지 않고 디스플레이가 $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ 에서 3D 공간의 중심에 있고 y 방향이 위쪽을 가리키는 양의 z 방향으로 관찰자를 가리킨다. 공식적인 정의는 다음과 같다:

[0280] 라이트 필드 디스플레이 $D = (M_x, M_y, N_u, N_v, f, D_{LP})$ 를 고려하면, 여기서 (M_x, M_y) 는 디스플레이 공간 해상도의 수평 및 수직 치수이고, (N_u, N_v) 는 수평 및 수직 치수이다. 디스플레이의 각 해상도 구성 요소. 디스플레이

이는 피치가 D_{LP} 이고 초점 거리가 f 인 이상적인 라이트 필드 프로젝터 어레이라고 가정한다. 라이트 필드 프로젝터의 $M_x \times M_y$ 어레이가 첫 번째 좌표가 x 축과 정렬되고 두 번째 좌표가 y 축과 정렬되도록 LFP_{ij} 로 인덱싱될 수 있다고 가정한다. 따라서, 라이트 필드 프로젝터 세트의 결과는 다음과 같다: $\{LFP_{ij} \mid 1 \leq i \leq M_x, 1 \leq j \leq M_y\}$. 특정 라이트 필드 프로젝터의 경우 $1 \leq u \leq N_u$ 및 $1 \leq v \leq N_v$ 에 대해 $LFP_{ij}(u, v)$ 에 의해 개별 $N_u \times N_v$ 픽셀 각각을 지정할 수 있다. 디스플레이의 초점 거리 f 를 기반으로 θ_{FOV} 로 표시된 각도 시야를 계산할 수 있다.

[0281] 라이트 필드 디스플레이는 디스플레이 표면 뒤와 앞 모두 영역을 포함하는 두 개의 분리된 시야 절두체에 의해 정의된 체적 영역 내에 있는 객체를 나타낼 수 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 두 절두체는 본원에서 주어진 디스플레이의 내부 및 외부 절두체 영역으로 지칭된다.

[0282] 관찰자 $O = (X_0, D_0, f_0)$ 를 핀홀 카메라로 정의하면 초점 거리가 f_0 인 디스플레이를 이미징하고 초점이 X_0 에 있고 D_0 방향을 가리키며 여기서 D_0 는 3D 벡터이다. 관찰자 O 의 경우, 이는 관찰자 이미지로 알려져 있으며 I_0 로 표시된다.

[0283] 특정 관찰자는 특정 위치 및 방향/방향에 따라 디스플레이의 라이트 필드 프로젝터에 의해 투사되는 가능한 출력 광선 방향의 다른 서브세트를 이미지화한다. 이러한 광선들이 더 정확하게 정의할 수 있다:

[0284] 디스플레이 $(M_x, M_y, N_u, N_v, f, D_{LP})$ 와 관찰자 $O = (X_0, D_0, f_0)$ 가 주어진다. X_0 와 각 라이트 필드 프로젝터의 중심을 연결하는 선으로 정의되는 D 와 연관된 각 라이트 필드 프로젝터에 대해 하나씩 광선 세트를 정의한다. X_{ij}^c 가 LFP_{ij} 의 중심을 나타낸다고 하자. 그런 다음 라인들의 세트 $\{\overline{X_0 X_{ij}^c} \mid 1 \leq i \leq M_x, 1 \leq j \leq M_y\}$ 를 디스플레이 D 에 대한 관찰자 O 의 표준 광선 세트로 정의한다. 표준 광선은 다음과 같아야 한다. 관찰자 이미지에 기여하는 광선의 서브세트만 형성한다. 관찰자의 표준 광선 세트가 관찰자의 방향 D_0 및 초점 거리 f_0 와 무관하다는 것을 관찰하는 것은 간단하다. 따라서 특정 위치에 있는 모든 가능한 관찰자 세트는 디스플레이에 대해 동일한 표준 광선 세트(set of canonical rays)를 공유한다

[0285] 임의의 표준 광선 $\overline{X_0 X_{ij}^c}$ 에 대해, 이는 $\overline{X_0 X_{ij}^c}$ 와 연관된 벡터의 구면 좌표들을 나타내는 각도 $(\theta_{ij}, \varphi_{ij})$ 쌍이다. $LFP_{ij}(u, v)$ 의 $N_u \times N_v$ 요소들의 각각은 또한 $\overline{P_{uv}}$ 로 표시된, 공간 벡터 표현뿐만 아니라 $(\theta(u), \varphi(v))$ 로 작성될 수 있는 구면 좌표 표현을 또한 갖는다.

[0286] 주어진 디스플레이 및 관찰자에 대한 표준 광선은 디스플레이 및 해당 라이트 필드 프로젝터에 의해 투영된 라이트 필드에서 강도 값을 샘플링하는 것으로 볼 수 있다. 이러한 강도 값은 M_y 이미지에 의해 M_x 를 형성하는 것으로 관찰될 수 있으며, 여기서는 디스플레이 D 및 관찰자 O 에 대한 표준 이미지라고도 한다. 이 이미지는 $I_c[D, O](x, y)$ 로 표시된다.

[0287] 디스플레이의 θ_{FOV} 를 고려할 때 디스플레이의 모든 라이트 필드 프로젝터 기반 픽셀의 빛을 볼 수 있으려면 관찰자가 있어야 하는 최소 거리가 있다. 일반적으로 FOV가 작을수록 이 거리는 더 커지고 시야가 크면 관찰자가 더 가까이 올 수 있다. 이 거리는 삼각법으로 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$d_o = \frac{M_x D_{LP}}{2 \tan\left(\frac{\theta_{FOV}}{2}\right)}$$

[0288]

[0289] 각 라이트 필드 프로젝터는 연속적인 부드러운 라이트 필드의 세그먼트를 나타낸다. 디스플레이와 관찰자가 주어지면 각각의 표준 광선은 해당하는 라이트 필드 프로젝터 어레이 내의 강도를 사용하여 라이트 필드를 샘플링한다. 즉, 표준 광선 $\overline{X_0 X_{ij}^c}$ 이 주어지면 라이트 필드 프로젝터 이미지 LFP_{ij} 에 포함된 강도 값에 대해 수행된 리샘플링 동작을 기반으로 강도 값이 재구성된다. 여기에 사용된 공통 모델은 라이트 필드 프로젝터 이미지에

의해 암시된 각 광선에 스폿 너비를 제공한다. 이 스폿 너비를 사용하면 각 프로젝터 강도 값에 물리적 각도 확산을 제공하여 라이트 필드의 물리적 재구성을 설명할 수 있다.

[0290] 분석을 단순화하기 위해 PSF(Point Spread Function) 모델은 어느 정도 무시된다. 대신, 표준 광선이 최근접 이웃 보간 방식을 사용하여 특정 LFP_{ij} 에서 라이트 필드를 샘플링한다고 가정한다. 일부 (i, j)에 대해 강도 값 $I_c[D, O](i, j)$ 에 해당하는 표준 이미지의 광선을 고려한다. 본원은 광선 벡터 $X_o X_{ij}^c$ 가 구면 좌표를 사용하여 (θ_{ij}, ϕ_{ij}) 로 표현될 수 있다고 가정하였다.

$$[0291] (u_n^{ij}, v_n^{ij}) = \operatorname{argmin}_{u,v} \arccos(\overline{X_o X_{ij}^c \cdot P_{u,v}})$$

[0292] 인덱스 (u_n, v_n) 는 샘플링 표준 광선으로부터 최소 각도 거리를 갖는 라이트 필드 프로젝터 픽셀을 나타낸다. 따라서 이러한 최근접 이웃 보간법에 의하면:

$$[0293] I_c[D, O](i, j) = LFP_{ij}(u_n^{ij}, v_n^{ij})$$

[0294] 이 재구성 모델은 초기에 샘플링 지오메트리의 더 간단한 분석 및 이해를 가능하게 한다.

[0295] 디스플레이 개념의 피사계 심도(DoF)에 기초하여, 공간 해상도를 나타내는 3D 디스플레이의 능력은 객체가 최대 피사계 심도를 넘어 이동함에 따라 감소한다. 현재의 라이트 필드 또는 멀티뷰 디스플레이는 상대적으로 열악한 각도 해상도와 샘플링 밀도로 인해 작은 피사계 심도를 겪는 것으로 보인다. 이러한 디스플레이를 보면 화면의 상당한 깊이에는 있는 객체가 상당히 흐려지는(blurry) 것이 분명하다.

[0296] 디스플레이의 객체는 3D 디스플레이의 추가 지각 신호가 부족하지만 거리에서 부자연스럽게 흐려지지 않는다. 표준 2D 디스플레이에서 디스플레이 표면에서 실제로 멀리 떨어져 있는 장면 깊숙이 나타나는 3D 개체는 디스플레이의 최대 해상도에 비해 자연스럽게 저해상도이다. 즉, 객체가 2D 디스플레이에서 멀어질수록 2D 디스플레이에서 투영된 영역이 작아지므로 이 투영된 영역을 나타내는 픽셀 수가 영역의 크기에 따라 감소한다. 이것은 망막(또는 카메라의 이미징 평면)의 더 작은 영역에 더 멀리 있는 객체가 투영되어 더 적은 세부 사항을 해결할 수 있는 방법에 해당한다. 그러나 상대적으로 낮은 각도 해상도의 3D 디스플레이에서는 멀리 있는 객체가 흐릿해지며 디스플레이 표면에 투영된 영역에 비례하는 해상도로 표현되지 않는다.

[0297] 3D 디스플레이의 유효 공간 해상도를 유사 등가 2D 디스플레이와 비교하여 깊이에서 측정하는 것이 제안되었다. 3D 디스플레이는 3D 디스플레이가 디스플레이의 내부 절두체 영역에 위치한 정면 평행 평면을 표시하는 방식을 고려하여 2D 디스플레이를 모방하는 데 사용된다. 평면의 크기는 주어진 관찰자 위치를 기준으로 관측 절두체의 전체 너비를 채우기 위해 깊이에 따라 증가한다. d_p 는 평면의 z 좌표를 나타낸다. 이 평면은 여기에서 평면 $P_c(d_p, O)$ 로 지칭된다.

[0298] (x_o, z_o) 에 있는 관찰자 O를 고려한다. 디스플레이의 너비 D를 ω 로 둔다. 평면은 (x_o, z_o) 에 있는 관찰자의 경우 평면이 배치된 깊이에 관계없이 평면의 크기가 평면이 디스플레이의 각 공간 픽셀에 투영되도록 구성된다. 즉, 평면에 보이는 것은 도 19와 같이 디스플레이 표면의 전체 공간을 차지한다.

[0299] 깊이 d_p 에 위치한 구성된 평면의 너비 W를 계산하기 위해 유사한 삼각형의 지오메트리를 기반으로 하는 공식이 사용된다. 양의 z 축은 디스플레이에서 관찰자를 향하고 있고 d_p 를 음수 값으로 만든다는 것을 유의해야 한다:

$$[0300] W = \omega \frac{z_o - d_p}{z_o}$$

[0301] 설명의 편의를 위해 1D 디스플레이를 이용하여 분석이 수행되었다. 1D 분석의 경우 디스플레이는 다음과 같이 정의될 것이다

[0302] 정의된 범위에서 적절한 u에 대해 $LFP_i(u)$ 로 주소 지정이 가능한 라이트 필드 프로젝터가 사용된다. 관찰자는 x 및 z 좌표만으로 이루어진 X_o 를 갖는 $O = (X_o)$ 로 정의된다. X_i^c 는 LFP_i 의 중심을 나타낸다. 디스플레이 D에 대한 관찰자 O의 표준 광선 세트는 다음과 같다.

[0303] $\{\overline{X_o X_i^c} \mid 1 \leq i \leq M_x\}$

[0304] 생성된 표준 이미지는 $I_c\{D, O\}(x)$ 이다. 표준 광선 $\overline{X_o X_i^c}$ 은 각도 표현 θ_i 를 갖는다. $LFP_i(u)$ 의 N_u 요소 각각은 각도 표현 $\theta(u)$ 와 $\overline{P_u}$ 로 표시되는 공간 벡터 표현을 갖는다. 최근접 이웃 보간에 대하여,

[0305] $I_c[D, O](i) = LFP_i(u_n^i)$

[0306] 여기서:

[0307] $u_n^i = \operatorname{argmin} |\theta_i - \theta(u)|$

[0308] 내부 절두체에 대한 유효 해상도

[0309] 주어진 관찰자의 해상도가 디스플레이 표면으로부터의 거리 측면에서 장면 요소에 대해 어떻게 저하되는지에 대한 질문에 답하기 위해 분석은 디스플레이의 내부 절두체에 위치한 깊이로 제한된다. 단순화를 위해 1차원 디스플레이로 가정한다.

[0310] 깊이에서 효과적인 해상도를 정량화하기 위해 이 설정에서 대답해야 할 핵심 질문은 입사 표준 광선을 재구성하는 데 기여하는 라이트 필드 프로젝터 광선이 평면 $P_c(d_p, O)$ 를 어떻게 샘플링하는가? 여기에 모델링된 두 가지 샘플링 단계: (1) 라이트 필드 프로젝터 광선은 평면을 샘플링하고 (2) 입사 정준 광선은 라이트 필드 프로젝터 광선의 서브세트에서 라이트 필드를 샘플링한다. 표준 광선 샘플이 최근접 이웃 보간을 통해 라이트 필드 프로젝터의 한 요소만 사용하여 구성된다고 가정하면 문제가 단순화된다.

[0311] 정리 1

[0312] 디스플레이 $D = (M_x, N_u, f, D_{LP})$ 와 관찰자 $O = (X_o, D_o, f_o)$ 라고 가정한다. $z_o = \omega = M_x D_{LP}$ 라고 하자. 따라서 깊이에서의 유효 해상도 d_p 는 다음과 같이 추정할 수 있다:

[0313]
$$P_x = \frac{\omega \frac{z_o - d_p}{z_o}}{2 \tan \theta_{FOV} / 2} \frac{1}{D_{LP} + -d_p \frac{1}{N_u}}$$

[0314] 증명

[0315] 평면 $P(d_p, O)$ 를 가정한다. 거리는 라이트 필드 프로젝터의 광선이 내부 절두체를 샘플링하여 평면 $P(d_p, O)$ 를 샘플링하는 방법과 관련하여 정의된다. c_i 가 LFP_i 와 교차하는 광선이 되도록 레이블이 지정된 M_x 표준 광선 집합 $C = \{c_1, \dots, c_{M_x}\}$ 을 고려한다. 광선 c_i 와 연관된 강도는 $I_c[D, O](i)$ 이다.

[0316] 정의된 최근접 이웃 방식(nearest neighbor scheme)에 따라 각 광선 $c_i \in C$ 는 이전에 정의된 대로 u_n^i 로 인덱싱된 LFP_i 의 해당 광선에 매핑된다. 두 가지 가능한 경우들이 있다. 첫 번째 경우, 두 개의 인접한 정준 광선 c_i 및 c_{i+1} 모두 동일한 각도의 해당 라이트 필드 프로젝터(LFP_i, LFP_{i+1})에서 가장 가까운 이웃을 갖는다. 즉, $u_n^{i+1} = u_n^i$ 이다. 이를 보는 또 다른 방법은 인접한 표준 광선이 평행 라이트 필드 프로젝터 광선에 매핑된다는 것이다. 두 번째 가능한 경우, 두 개의 인접한 표준 광선 c_i 및 c_{i+1} 이 해당하는 라이트 필드 프로젝터의 개별 광선에 매핑된다. 즉, 정수 $k \geq 1$ 에 대해 $u_n^{i+1} = u_n^i + k$ 이다. $N \leq M_x$ 인 디스플레이의 경우 관찰자가 디스플레이 표면에서 최소 d_0 거리에 있다고 가정하면 이 경우는 $u_n^{i+1} = u_n^i + 1$ 이 된다.

[0317] 이제 이 두 가지 경우를 기반으로 거리가 정의된다. 첫 번째 경우, 두 개의 인접한 LFP 광선은 정의에 따라 거리가 D_{LP} 인 평행한다. 두 번째 경우에는,

[0318] $d = D_{LP} + q$

[0319]
$$q = -d_p \frac{2 \tan(\theta_{FOV}/2)}{N_u}$$

[0320] 병렬 샘플과 발산 샘플의 이러한 조합은 균일하지 않은 샘플링 패턴을 생성한다. 디스플레이 표면 깊이 - 관찰자 트리오의 유효 해상도는 평면 $P_c(d_p, O)$ 크기를 가장 큰 샘플링 거리로 나눈 것으로 제안된다. 가장 큰 샘플링 거리가 샘플링이 보장되는 가장 작은 특징 크기를 결정하기 때문이다.

[0321] 즉, 해상도가 P_X 인 2D 디스플레이는 특정 디스플레이 - 표면 깊이 - 관찰자 트리오와 동일한 최소 기능 크기를 갖는다. 내부 절두체의 경우 P_X 는 다음과 같게 될 것이다:

[0322]
$$P_x = \frac{W}{d} = \frac{\omega \frac{z_o - d_p}{z_o}}{2 \tan(\theta_{FOV}/2)} \frac{D_{LP} + -d_p}{N_u}$$

[0323] 깊이의 유효해상도 추정에 대한 공식이 주어지면 공식은 변수 d_p 에 대해 최소값을 갖는 곡선을 제공하는 것으로 나타났다. 평면이 매우 큰 깊이(즉, $d_p \rightarrow -\infty$)에 있는 경우 점근적 최소 유효 해상도는 다음과 같다.

[0324]
$$B_x = \lim_{d_p \rightarrow -\infty} P_x = \frac{\omega N_u}{z_o 2 \tan(\theta_{FOV}/2)}$$

[0325] 외부 절두체에 대한 효과적인 해상도

[0326] 외부 절두체의 경우 d_p 값은 현재 좌표계를 기준으로 양수이다 d_p 가 양수일 때 q 는 음수가 되므로 $d < D_{LP}$ 이다.

[0327] 디스플레이 표면 깊이 관찰자 트리오의 유효 해상도는 현재 D_{LP} 인 가장 큰 샘플링 거리로 나눈 평면의 크기라고 제안된다.

[0328] 시차 인코딩/디코딩

[0329] 각 레이어에 적용되는 샘플링 방식으로부터 생성된 라이트 필드의 인코딩된 레이어화된 장면 분해 표현은 주로 RGB 색 및 시차를 포함하는 복수의 픽셀로 구성된다. 일반적으로 말해서, 픽셀의 시차(깊이) 필드에 대한 적절한 비트 폭을 선택하는 것이 중요하다. 이 필드의 폭은 재구성 동안 연산의 정확도를 향상시키기 때문이다. 그러나, 증가된 비트 수의 사용은 달성된 압축률에 부정적인 영향을 미친다.

[0330] 본 개시에서, 주어진 샘플링 방식에 의해 지정된 RGB 색 및 시차 픽셀의 각 레이어는 개별 픽셀에 대응하는 특정 시차 범위를 갖는다. 본 개시는 깊이 정보의 정확성을 증가시키기 위해 각각의 레이어화된 장면 분해 레이어 내에서 이 좁은 범위의 시차를 이용한다. 종래의 픽셀 표현에서, 전체 장면에 대한 시차 범위는 고정된 수의 값으로 맵핑 된다. 예를 들어, 10 bit 시차 인코딩에서는 1024 개의 별개의 깊이 값만이 있을 수 있다. 본 개시의 레이어화된 장면 분해에서, 각 레이어가 알려진 깊이 경계를 갖기 때문에 동일한 고정된 수의 값이 각 레이어화된 장면 분해 레이어에 적용된다. 이는 픽셀 재구성 정확도를 유지하면서 깊이 채널의 폭을 감소시킴으로써 전송 대역폭이 감소될 수 있기 때문에 유리하다. 예를 들어, 시스템이 8 비트의 시차 폭을 구현하고 장면이 8 개의 레이어화된 장면 분해 레이어로 분해될 때, 총 2048 개의 별개의 시차값이 사용될 수 있으며, 각 레이어는 8 비트 표현에 기초한 256 개별 가능값을 갖는다. 이는 내부 또는 외부 절두체내의 가능한 모든 범위의 시차 값을 주어진 비트 수로 맵핑하는 것보다 더 효과적이다.

[0331] 본 개시는 동일한 수의 비트를 이용하지만, 비트는 해석되고 각 레이어화된 장면 분해 레이어는 서로 독립적이기 때문에, 깊이(비트) 인코딩은 각 레이어에 대해 다르고 정확한 고정 지점 표현을 제공하도록 설계될 수 있다. 예를 들어, 디스플레이 스크린에 더 가까운 레이어화된 장면 분해 레이어는 더 작은 깊이값을 가지며 작은 수의 정수 비트 및 다수의 분수 비트를 갖는 고정 소수점 포맷(fixed point format)을 사용할 수 있는 반면, 디스플레이 스크린 으로부터 멀리 떨어진 레이어화된 장면 분해 레이어는 더 큰 깊이값을 가지며 다수의 정수

비트 및 작은 수의 분수 비트를 갖는 고정 소수점 포맷을 사용할 수 있다. 분수 비트는 레이어별로 구성 가능하다.

$$\text{MinFixedPoint} = 1/(2^{\text{FractionalBits}})$$

$$\text{MaxFixedPoint} = 2^{16-\text{FractionalBits}} - \text{MinFixedPoint}$$

시차는 라이트 필드 후처리 단계에서의 깊이로부터 계산되고 다음 공식을 사용하여 인코딩된다:

$$\text{ScaleFactor} = (\text{MaxFixedPoint} - \text{MinFixedPoint})/(\text{NearClipDisparity} - \text{FarClipDisparity})$$

$$\text{EncodedDisparity} = (\text{Disparity} - \text{FarClipDisparity}) * \text{ScaleFactor} + \text{MinFixedPoint}$$

시차는 다음의 공식을 이용하여 디코딩된다:

$$\text{ScaleFactor} = (\text{MaxFixedPoint} - \text{MinFixedPoint})/(\text{NearClipDisparity} - \text{FarClipDisparity})$$

$$\begin{aligned} \text{UnencodedDisparity} \\ = (\text{EncodedDisparity} - \text{MinFixedPoint})/\text{ScaleFactor} \\ + \text{FarClipDisparity} \end{aligned}$$

도 18은 컴퓨터 구현 방법을 나타내고,

장면의 3차원 설명을 포함하는 제1 데이터 세트를 수신하는 단계(420);

상기 제1 데이터 세트를 기준 위치에 대해 다른 위치에서 상기 장면의 다른 부분을 각각 표현하는 복수의 레이어들로 파티셔닝하는 단계(429);

제2 데이터 세트를 생성하기 위해 다중 서브세트들을 인코딩하는 단계 - 상기 제2 데이터 세트의 크기는 상기 제1 데이터 세트의 크기보다 작고, 서브세트를 인코딩하는 단계는 상기 서브세트에 대한 샘플링 동작을 수행하는 단계를 포함하고 상기 샘플링 동작을 수행하는 단계(433)는,

적절한 샘플링 레이트를 결정하기 위해 유효 해상도 함수를 사용하는 단계 이후에 상기 적절한 샘플링 레이트를 사용하여 서브섹션과 연관된 요소 이미지들을 다운샘플링하는 단계(434)를 포함한다.

일반적이고 예시적인 실시예 - 코덱 구현 및 적용들

개요

본 개시는 평면 파라미터화, 임의의 디스플레이 파라미터화, 파라미터화의 조합 또는 임의의 다른 구성 또는 파라미터화 유형과 같은 그러나 이에 제한되지 않는 각 픽셀 파라미터화의 다양한 유형을 위한 인코더-디코더를 정의한다. 본 개시의 일반적이고 예시적인 실시예는 다차원 비디오 스트리밍, 다차원 대화형 게임 또는 다른 라이트 필드 디스플레이 시나리오를 위한 합성 라이트 필드를 생성하는 방법을 제공한다. 실시간 대화형 콘텐츠로 라이트 필드 디스플레이를 구동할 수 있는 렌더링 시스템 및 프로세스가 제공된다. 라이트 필드 디스플레이는 라이트 필드의 장기 저장을 필요로하지 않지만 대화형 사용자 경험을 지원하기 위해 짧은 지연 시간으로 라이트 필드를 렌더링하고 전송해야 한다.

도 7은 본 개시의 일반적이고 예시적인 실시예의 코덱 시스템 개요를 제공한다. 게임 엔진 또는 대화식 그래픽 컴퓨터(70)는 3차원 장면 데이터를 GPU(71)로 전송한다. GPU는 데이터를 인코딩하고 이를 디스플레이 포트(72)를 통해 FPGA 또는 ASIC와 같은 디코딩 프로세서를 포함하는 디코딩 유닛(73)으로 전송한다. 디코딩 유닛(73)은 디코딩된 데이터를 라이트 필드 디스플레이(74)로 전송한다.

도 1은 합성 또는 비디오 데이터 소스(50)로부터의 라이트 필드 데이터가 인코더(51)에 입력되는 다른 일반적이고 예시적인 레이어화된 장면 분해 코덱 시스템을 도시한다. GPU(43)는 내부 절두체 부피 데이터를 인코딩하여 이를 복수의 레이어로 분할하며, 외부 절두체 부피 데이터를 인코딩하여 이를 추가의 복수의 레이어로 분할한다. 도 1은 내부 및 외부 절두체 부피 레이어 전용의 별도 GPU(43,53)를 도시하지만, 단일 내부 및 외부 절두체 부피 레이어 모 두를 처리하기 위해 단일 GPU가 이용될 수 있다. 각각의 레이어화된 장면 분해 레이어는 디코더(52)로 전송되며, 여기 서 복수의 내부 절두체 부피 레이어(44(1) 내지 44(*)) 및 복수의 외부 절두체 부피

레이어(54(1) 내지 54(*))은 단일 내부 절두체 부피 레이어(45) 및 단일 외부 절두체 부피 레이어(55)으로 디코딩되고 병합된다. 이중 절두체 렌더링에 따라, 내부 및 외부 절두체 부피는 단일의 재구성된 라이트 필드 데이터(56)의 세트로 합성(병합)되며, 그렇지 않으면 본 명세서에서 "최종 라이트 필드" 또는 "디스플레이 라이트 필드"로 지칭된다.

[0350] 도 10 내지 13은 본 개시에 따른 예시적인 코덱 프로세스 구현을 도시한다.

[0351] 도 10은 예시적인 레이어화된 장면 분해 코덱 방법을 도시하며, 이로써 이미지 디스크립션 또는 라이트 필드 데이터의 포맷의 3D 장면 데이터는 인코딩을 위해 인코더(400)에 로딩되고, 그 결과 도면에 도시된 바와 같이 데이터 (서브)세트 또는 대안적으로 3D 장면을 나타내는 전체 데이터 세트가 분할된다(403). 분할을 위한 3D 장면 데이터 서브세트를 식별하는 경우(402), 상황에 따라 요구될 수 있는 바와 같이, 식별 프로세스는 데이터 세트를 하나의 패스 또는 그룹핑(grouping)(예를 들어, 도 11에 더 상세히 도시된 바와 같이 내부 절두체 및 외부 절두체 데이터 레이어를 인코딩하기 위해)으로 분할하는 능력을 단순히 지칭하기 위해 의도된 일반적인 프로세스 단계 레퍼런스(process stage reference)인 것으로 이해된다. 이와 관련하여, 데이터 서브세트의 식별은 인코딩 서브-프로세스 단계(401)의 일부를 형성하는 사전 인코딩 처리 단계 또는 처리 단계들을 의미할 수 있다. 데이터 서브세트는 레이어의 세트를 생성하기 위해 분할(3D 장면의 분해)할 시 태그되고, 특정되고, 확인되고, 스캔되고 그리고 심지어 컴파일 및 그룹핑될 수 있다. 데이터 서브세트의 분할(403) 후에, 각각의 데이터 레이어는 본 개시에 따라 샘플링 및 렌더링되어 압축된 (이미지)데이터를 생성한다(404). 데이터 레이어 압축 후에 압축된 데이터는 압축 해제, 디코딩 및 재구성 단계를 포함하는 디코딩 서브-프로세스(406)를 위해 디코더(405)로 전송되어, 라이트 필드의 세트를 재구성하며(407), 본 명세서에서 "레이어화된 라이트 필드", 레이어화된 라이트 필드 이미지 및 라이트 필드 레이어로서 지칭된다. 구성된 레이어화된 라이트 필드는 병합되어 3D 장면을 표시하는(409) 최종 라이트 필드를 생성한다(408).

[0352] 실시간으로 3D 장면을 나타내는 라이트 필드의 전달을 최적화하기 위한(예를 들어 아티팩트를 최소화하기 위해) 병렬 코덱 프로세스가 도 13에 도시된다. 프로세스는 3D 장면 데이터를 인코더(700)에 로딩하고, 최종 라이트 필드의 자류 인코딩된 표현을 인코딩 및 압축하고(701), 잔류 인코딩된 표현을 디코더에 전송하고(702), 잔류 인코딩된 표현을 디코딩하고 그리고 최종 라이트 필드를 생성하기 위해 코어 인코딩된 표현과 함께 잔류 인코딩된 표현을 사용하고(703) 디스플레이에 3D장면을 디스플레이하는(704) 단계를 포함한다.

[0353] 도 11은 3D 장면 데이터(500)에 기초하여 도출된 2 개의 데이터 (서브)세트(502, 503)가 분할(501)을 위해 식별되며 각 데이터 세트의 상이한 깊이의 레이어로의 분할은 각각의 데이터 세트(504, 505)에 대한 2 개의 상이한 레이어화 방식에 따라 즉, 복수의 데이터 레이어에 동등하게 구현된다. 라이트 필드 디스플레이의 내부 절두체 및 외부 절두체 부피 각각을 나타내는 (복수의) 데이터 레이어의 세트(506, 507) 각각은 후속적으로 샘플링 방식(508, 509)에 따라 레이어별로(per layer basis) 샘플링되고; 각각의 샘플링된 레이어는 프로세서 단계(508, 509)에서 각각 데이터를 압축하고 2 개의 세트의 압축된 (이미지)데이터(510, 511)를 생성하도록 렌더링된다. 데이터 레이어의 세트(506, 507)에 대응하는 라이트 필드의 세트를 인코딩하는 압축된 데이터(510, 511)의 세트는 그 다음에 결합되어 (512), 최종 (디스플레이) 라이트 필드의 레이어화된 코어 인코딩된 표현(513)을 생성한다.

[0354] 도 12는 라이트 필드의 세트를 재구성하고 디스플레이에 최종 라이트 필드를 생성하기 위한 코덱 방법 또는 프로세스의 실시예를 도시한다. 라이트 필드의 세트(레이어화된 라이트 필드)는 다단계 뷰 합성 프로토콜(600)을 사용하여 코어 인코딩된 표현(513)으로부터 (재)구성된다. 프로토콜(VS1-VS8로 지정됨)은 코어 인코딩된 표현(513)의 8 개의 레이어 각각에 적용되고(601-608), 프로토콜은 디코딩된 각각의 데이터 레이어 라이트 필드의 특성에 따라 상이하거나 상이하지 않을 수 있다. 각각의 프로토콜은 양호한 이미지 해상도를 제공하기 위해 예지 적응 보간(609)으로 본 명세서에서 지칭되는 비선형 보간 형태를 적용할 수 있으며, 상기 필드의 코어 인코딩된 표현으로부터 재구성된 레이어화된 라이트 필드의 세트(들)(610)에서의 선명도는 이미지 선명도를 보장한다. 레이어화된 라이트 필드(610)는 병합되며, 이 경우 2 개의 병합된 라이트 필드의 세트(613, 614)를 생성하기 위한 2 개의 데이터 서브세트에 대응하는 2 개의 라이트 필드의 세트(611, 612)의 병합을 예시한다. 병합된 라이트 필드의 세트(613, 614)는 예를 들어 최종 라이트 필드의 내부 절두체 및 외부 절두체 부피를 나타낼 수 있고, 따라서 디스플레이에서 상기 최종 라이트 필드(616)를 생성하기 위해 병합(615)될 수 있다.

[0355] 코덱 인코더/인코딩

[0356] 본 개시에 따른 인코딩은 (예를 들어, 게임 또는 시뮬레이션 환경을 위한) 실시간 대화형 콘텐츠의 생성뿐만 아니라, 라이트 필드 일반화된 핀홀 카메라 또는 카메라 어레이를 통해 캡처된 기존의 다차원 데이터 세트를 지원

하도록 설계된다.

- [0357] 라이트 필드 디스플레이(D), 레이어화된 장면 분해(L) 및 샘플링 방식(S)에 대해, 시스템 인코더는 샘플링 방식에 포함된 각각의 레이어화된 장면 분해 레이어에 대응하는 라이트 필드와 관련된 요소 이미지를 생성한다. 각 요소 이미지는 일반화된 핀홀 카메라에 대응한다. 요소 이미지는 샘플링 방식에 의해 특정된 해상도로 샘플링되고 각 요소 이미지는 깊이 맵을 포함한다.
- [0358] 상당한 고 해상도 및 상당한 문제(significant challenge)가 나타나는 사이즈를 갖는 실시간 대화형 콘텐츠를 다차원 디스플레이로 구동하기 위한 렌더링 성능을 달성하는 것은 본 명세서에 기술된 바와 같이 임의의 하나의 기술에만 의존하는 결합을 해결하기 위해 하이브리드 또는 조합 렌더링 접근법의 적용으로 극복한다.
- [0359] 항등 함수 α 가 주어지면, 주어진 레이어화된 장면 분해 레이어에 대한 인코딩 방식에 의해 특정된 일반화된 핀홀 카메라의 세트는 표준 그래픽 뷰포트 렌더링을 사용하여 체계적으로 렌더링될 수 있다. 이 렌더링 방법은 특히 다수의 기본 요소 이미지를 포함하는 샘플링 방식을 갖는 레이어화된 장면 분해 레이어에 대해 많은 수의 드로우 콜(draw call)이 발생한다. 따라서, 사실적인 오토스테레오스코픽 라이트 필드 디스플레이를 위해 레이어화된 장면 분해를 이용하는 시스템에서, 이 렌더링 방법만으로는 실시간 성능을 제공하지 않는다.
- [0360] 표준 그래픽 드로우 콜을 사용하는 렌더링 기술은 일반화된 핀홀 카메라의 평면 파라미터화(항등 함수 α)의 렌더링을 원근 변환(perspective transformation)으로 제한한다. 하드웨어에 최적화된 래스터화 기능은 전통적인 2차원 디스플레이에서 고품질 실시간 렌더링에 필요한 성능을 제공한다. 이러한 가속화된 하드웨어 기능은 평면 파라미터화에 기초한다. 대안적으로, 평행 사투영(parallel oblique projection)은 표준 래스터화된 그래픽 파이프라인을 이용하여 일반화된 핀홀 카메라 평면 파라미터화를 렌더링할 수 있다.
- [0361] 본 개시는 삼각형의 세트를 디스플레이 스크린 상의 픽셀로 변환함으로써 일반화된 핀홀 카메라 뷰를 렌더링하기 위한 래스터화의 적용을 고려한다. 많은 수의 뷰를 렌더링할 때, 모든 뷰에서 모든 삼각형을 래스터화해야 한다. 경사 렌더링은 각 레이어화된 장면 분해 레이어에 필요한 렌더링 패스의 수를 줄이고 임의의 항등 함수 α 를 수용할 수 있다. 시스템은 항등 함수 α 로 특정된 각도당 하나의 평행 사투영을 이용한다. 일단 데이터가 렌더링 되면, 시스템은 "slice and dice" 블록 변환(미국 특허 번호 제 6,549,308호 및 7,436,537호 참조)을 실행하여, 저장된 데이터를 그의 각도 그룹으로부터 요소 이미지 그룹으로 재 그룹핑한다. "slice and dice" 방법만으로는 렌더링될 많은 수의 각도가 있는 경우 많은 별도의 경사 렌더링 드로우 콜을 요구하는 실시간 대화형 콘텐츠에 비효율적이다.
- [0362] 임의의 항등 함수 α 는 광선 추적 렌더링 시스템에 의해 또한 수용될 수 있다. 광선 추적에서, 임의의 각도를 특정하는 것은 평면 파라미터화를 허용하는 것보다 더 높은 성능이 필요하지 않는다. 그러나 최신 가속 GPU를 사용하는 렌더링 시스템이 필요한 실시간 대화형 콘텐츠의 경우 래스터화는 광선 추적 렌더링 시스템보다 안정적인 성능 확장성(performance scalability)을 제공한다.
- [0363] 본 개시는 라이트 필드를 효율적으로 인코딩하기 위한 몇몇 하이브리드 렌더링 접근법을 제공한다. 일 실시예에서, 인코딩 방식은 더 작은 각도 샘플을 요구하는 더 많은 이미지를 갖는 디스플레이 평면에 더 가깝게 위치한 레이어화된 장면 분해 레이어 및 더 작은 이미지 및 더 많은 각도 샘플을 갖는 디스플레이 평면으로부터 더 멀리 위치한 레이어를 렌더링한다. 관련 실시예에서, 원근 렌더링, 경사 렌더링 및 광선 추적이 결합되어 레이어화된 장면 분해 레이어를 렌더링하고; 이러한 렌더링 기술은 다양한 인터리브 렌더링 방법(interleaved rendering method)으로 구현될 수 있다.
- [0364] 본 개시의 일반적인 예시적인 실시예에 따르면, 하나 이상의 라이트 필드는 2차원 핀홀 카메라의 어레이를 렌더링하는 GPU에 의해 인코딩된다. 렌더링된 표현은 각각의 레이어화된 장면 분해 레이어에 적용된 샘플링 방식으로부터 픽셀을 계산함으로써 생성된다. 픽셀 셰이더(pixel shader)는 인코딩 알고리즘을 수행한다. 일반적인 GPU는 하나의 전송 프레임에서 장면 당 최대 2 내지 4의 핀홀 카메라 뷰를 생성하도록 최적화된다. 본 개시는 수백 또는 수천 핀홀 카메라 뷰를 동시에 렌더링해야 하므로, 데이터를 보다 효율적으로 렌더링하기 위해 다중 렌더링 기술이 사용된다.
- [0365] 하나의 최적화된 접근법에서, 디스플레이 평면으로부터 더 멀리 위치한 레이어화된 장면 분해 레이어에서의 일반화된 핀홀 카메라는 원근법적 렌더링으로 알려진 표준 그래픽 파이프라인 뷰포트 연산을 사용하여 렌더링된다. 디스플레이 평면에 더 가까이 위치한 레이어화된 장면 분해 레이어의 일반화된 핀홀 카메라는 "slice and dice" 블록 변환을 사용하여 렌더링된다. 이 방법을 결합하면 레이어화된 플렌옵틱 샘플링 이론 샘플링 방식에 대한 고효율 렌더링을 제공한다. 본 개시는 디스플레이 평면으로부터 더 멀리 위치한 레이어가 더

높은 해상도를 갖는 더 적은 수의 요소 이미지를 포함하고 디스플레이 평면에 더 가까이 위치한 레이어가 더 낮은 해상도를 갖는 더 많은 수의 요소 이미지를 포함하는 레이어화된 장면 분해 레이어를 제공한다. 원근법적 렌더링을 이용하여 디스플레이 평면으로부터 더 멀리 떨어진 레이어에서 더 적은 수의 요소 이미지를 렌더링하는 것은 효율적이며, 이는 방법이 각 요소 이미지에 대해 단일 드로우 콜만을 필요로 하기 때문이다. 그러나, 일부 지점에서, 원근법적 렌더링은 디스플레이 평면에 더 가까이 위치한 레이어에 대해 비효율적이다. 이는 이러한 레이어가 증가된 수의 드로우 콜을 요구하는 더 많은 수의 요소 이미지를 포함하기 때문이다. 디스플레이 평면에 더 가까이 위치한 레이어에 위치한 요소 이미지는 상대적으로 적은 수의 각도에 대응하기 때문에, 경사 렌더링은 감소된 수의 드로우 콜로 이들 요소 이미지를 효율적으로 렌더링할 수 있다. 일 실시예에서, 레이어화된 장면 분해 레이어를 렌더링하기 위해 시스템이 원근법적 렌더링, 경사 렌더링 또는 광선 추적을 어디에 이용해야 하는지를 결정하는 프로세스가 제공되며, 임계치 알고리즘을 적용하여, 각각의 레이어화된 장면 분해 레이어는 특정 레이어 깊이에서 요구되는 요소 이미지의 사이즈(경사 렌더링 드로우 콜의 수)에 렌더링될 요소 이미지의 수(즉, 원근법적 렌더링 드로우 콜의 수)를 비교하기 위해 평가되며, 시스템은 렌더링 드로우 콜의 최소 개수를 요구하는 렌더링 방법(기술)을 구현한다.

[0366] 표준 그래픽 콜이 이용될 수 없는 경우, 시스템은 원근법적 또는 경사 렌더링 대신 광선 추적을 구현할 수 있다. 따라서, 다른 실시예에서, 대안적인 렌더링 방법은 광선 추적을 사용하여 디스플레이 평면에 더 가까이 위치한 레이어 또는 디스플레이 평면에 더 가까이 위치한 레이어의 일부를 렌더링한다.

[0367] 광선 추적 렌더링 시스템에서, 레이어화된 장면 분해 레이어의 각 픽셀은 라이트 필드에 의해 정의된 광선과 관련된다. 각 광선이 캐스팅되고 레이어화된 장면 분해와의 교차가 표준 광선 추적 방법에 따라 계산된다. 광선 추적은 기존 GPU 렌더링에 어려운 임의의 광선 각도를 수용할 수 있기 때문에 표준 GPU 렌더링 파이프라인에 의해 예상되는 표준 평면 파라미터화를 준수하지 않는 항등 함수 α 를 렌더링할 때 유리하다.

[0368] 호겔이 픽셀을 공간에 투영할 때 모든 픽셀이 유용하지는 않을 것이다. 위쪽과 왼쪽으로 픽셀을 투사하는 디스플레이의 왼쪽 상단 호겔을 고려한다. 관찰자가 이 픽셀을 볼 수 있는 유일한 시간은 관찰자가 왼쪽 상단 호겔이 관찰자의 시야의 오른쪽 하단 경계에 있는 위치에 있는 경우이다. 이 위치에서 디스플레이의 다른 모든 호겔은 시야가 허용하는 것보다 더 큰 각도에서 볼 수 있으며 결과적으로 왼쪽 상단 호겔을 제외한 다른 모든 호겔은 턴 오프된다. 지정된 이 관찰자 위치는 유용한 보기 위치에 있지 않으며 왼쪽 상단 호겔의 왼쪽 상단 픽셀이 턴 오프되어 있으면 중요하지 않는다. 이 토론에서는 유효한 뷰잉 영역의 개념을 사용한다. 유효한 뷰잉 영역은 관찰자가 시야 내의 각도로 디스플레이의 모든 호겔을 볼 수 있고 결과적으로 각 호겔에서 픽셀을 수신할 수 있는 공간의 모든 위치 집합이다. 이 영역은 모든 호겔의 투영 절두체(projection frustum)가 교차하는 곳이다.

[0369] 유효 뷰잉 영역의 정의는 4개의 코너 호겔의 투영 절두체가 교차하는 곳까지 효과적으로 축소될 수 있다. 모서리는 가장 극단적인 경우이므로 위치가 네 모서리의 투영 절두체 내에 있는 경우 해당 위치도 유효한 뷰잉 영역 내에 있다. 이러한 접근 방식은 또한 이러한 절약 및 효율성을 실현하기 위해 도입된 제약인 최대 뷰잉 거리(maximum viewing distance)의 개념을 도입한다. 최대 뷰잉 거리가 없으면 뷰잉 절두체는 끝이 네거티브 디스플레이 법선을 따라 향하고 밑면이 디스플레이에서 무한한 깊이에 있는 직사각형 피라미드(즉, 표준 절두체)이다. 최대 뷰잉 거리를 도입하여 직사각형 피라미드의 밑면에는 이제 거리가 최대 뷰잉 거리와 동일한 밑면이 있다. 절약을 실현하기 위해 취한 접근 방식은 유효한 뷰잉 영역에 투영되지 않아 낭비되는 픽셀을 렌더링하거나 보내는 것이 아니다. 지정된 최대 뷰잉 거리에 필요한 픽셀 수는 호겔 필 팩터(hogel fill factor)이다. 호겔 필 팩터는 주어진 깊이(즉, 호겔 투영의 너비가 1m이고 뷰잉 영역의 너비가 0.5m인 경우 0.5m의 절반만 있는 경우 2D에서) 뷰잉 영역 크기와 호겔 투영 크기 사이의 비율이다.

[0370] DW는 디스플레이 너비(미터)를 나타내고 MVD는 최소 보기 거리(미터) FOV는 (각도의) 시야(field of view)이다. 최대 뷰잉 거리는 $MVD + y$ 로 정의되며, 여기서 y 는 사용 가능한 범위의 크기를 미터 단위로 나타낸다. 유사한 지오메트리에서 각도 b 는 각도 a 와 같다. 여기서 각도 b 는 (각도의) 시야와 같다. c 로 표시된 뷰잉 영역의 너비는 다음 방정식으로 정의된다:

$$c = \tan\left(\frac{FOV}{2}\right) * 2 * y$$

[0371]

[0372] 호겔 투영의 폭은 다음 방정식으로 정의된다:

$$e = \tan\left(\frac{FOV}{2}\right) * 2 * (y + MVD)$$

[0373]

[0374] 2D의 호겔 필 팩터는 c와 e 사이의 비율이므로 다음과 같다.

$$hogel\ fill\ factor = \frac{\tan\left(\frac{FOV}{2}\right) * 2 * y}{\tan\left(\frac{FOV}{2}\right) * 2 * (y + MVD)}$$

[0375]

[0376] 이는 다음으로 유도된다:

$$hogel\ fill\ factor = \frac{y}{(y + MVD)}$$

[0377]

[0378] 이를 3D로 적용하면 (x, y) 양쪽에 호겔 필 팩터가 적용된다. 결과적으로 호겔 채우기 계수는 다음과 같이 정의된다:

$$hogel\ fill\ factor = \left(\frac{y}{y + MVD}\right)^2$$

[0379]

[0380] 호겔 필 팩터의 증가 또는 감소의 결과는 각각 최대 뷰잉 깊이의 증가 또는 감소이다.

[0381] 수정된 샘플 패턴의 광선 추적 픽셀

[0382] 보정된 라이트 필드를 생성하는 전략은 라이트 필드를 래스터화한 다음 픽셀당 워프 연산을 적용하는 것이다. 픽셀이 어디로 가야 하는지는 디스플레이 이미지를 포함하는 특성화 루틴에 의해 결정된다. 라이트 필드가 어떻게 휘어지는지는 형태는 변하지 않지만 계수는 변하는 방정식에 따라 다르다. 이러한 계수는 각 디스플레이에 고유하다. 수정 뒤에 있는 아이디어(말 그대로 작동 방식은 아님)는 픽셀이 X에 있어야 하지만 대신 X+0.1에서 측정된 경우 픽셀이 X에서 측정될 것을 예상하여 X-0.1 위치로 뒤틀릴 것이라는 것이다. 목표는 측정된 위치와 일치하도록 하는 것이다.

[0383] 균일한 그리드에서 생성한 후 올바른 그리드로 워핑하는 이 전략은 광선 추적을 사용하여 올바른 그리드를 즉시 샘플링하는 것으로 대체될 수 있다. 래스터화는 균일한 그리드 작업인 반면 광선 추적은 일반화된 샘플링이다. 이것은 또한 라이트 필드 무결성을 유지하는 데 도움이 될 것이다. 검은 바다의 흰색 픽셀을 고려해보자. 첫 번째 렌즈 시스템의 보정은 +0.5의 수평 및 수직 이동을 모두 요구한다. 결과는 0.5, 0.5를 둘러싼 2x2 격자의 4개의 회색 픽셀이다. 디스플레이 렌즈는 -0.5의 수평 및 수직 이동을 모두 요구한다. 그 결과 라이트 픽셀의 3x3 격자, 중앙에 밝은 회색 픽셀, 네 면에 4개의 더 어두운 회색 픽셀, 네 모서리에 4개의 더 어두운 회색 픽셀이 생성된다. 픽셀이 원래 올바르게 샘플링된 경우 이러한 에너지 분산이 발생하지 않는다. 레이 트레이싱이 래스터화보다 빠를 것 같지는 않지만 수정이 컷 아웃되고 계산된 호겔 필 팩터에 따라 라이트 필드의 절반만 캡처되면 전체 파이프라인이 더 빠를 수 있다.

[0384] 화면 공간 광선 추적

[0385] 뷰 합성에 대한 워핑 접근 방식의 대안은 스크린 공간 광선 추적이다. McGuire et al은 (강건성을 위해) 다중 깊이 레이어에 스크린 공간 광선 추적의 적용을 제안한다. 이 깊이 레이어는 깊이 필딩에 의해 생성된 레이어이다. 그러나 깊이 필딩 알고리즘은 느리므로 최신 GPU를 사용할 때 역 재투영, 다중 뷰포트 및 다중 래스터화를 기반으로 하는 단일 패스 방법(예: Mara et al)이 선호된다.

[0386] 공간 광선 추적을 레이어화된 장면 분해와 결합할 가능성이 있다. 개별 광선은 알려진 보기를 기반으로 추적된다. 이로부터 결과는 각 픽셀의 색상을 나타내는 이미지이다. 레이어화된 장면 분해 코덱 프로세스의 경우, 라이트 필드의 인코딩된 형태가 생성되고 누락된 픽셀이 있는 레이어로 표시된다. 이러한 픽셀은 인코딩된 표현에 있는 픽셀의 스크린 공간 광선 추적을 사용하여 재구성할 수 있다. 이 표현은 예를 들어 깊은 G 버퍼 형태의 요소 이미지 또는 레이어화된 요소 이미지일 수 있다. McGuire et al은 레이어화된 깊이 이미지 유형 표현을 위한

가속도 데이터 구조를 사용하여 이를 수행하는 한 가지 기술이 설명한다. 이것은 광선 교차를 가속화하는 데이터 구조에도 효과적으로 사용되는 다각형 또는 객체 수준 표현에서 광선을 추적하는 방법과 대조된다.

[0387] 스크린 공간 주변 폐색, 소프트 새도우, 및 피사계 심도. 이러한 화면 공간 기술은 전통적으로 3D 형상을 레이 트레이싱하여 작동하는 근사 알고리즘이다. 이러한 알고리즘 중 다수는 화면 공간 광선 추적 또는 Sousa et al.에서 설명한 대로 광선 행진을 사용한다. 추가 데이터 구조를 구축할 필요가 없으므로 광선 행진이 바람직하다. DDA(디지털 차동 분석기)와 같은 기존 광선 행진 방법은 원근법을 고려하지 않는 한 과잉 및 과소 샘플링에 취약하다. 대부분의 화면 공간 광선 추적 방법은 단일 깊이 레이어만 사용한다. 이 기술을 레이어화된 장면 분해와 결합하면 알고리즘이 여러 깊이 레이어를 통하지 않고 장면의 서브셋으로 작동할 수 있으며 장면을 서브셋으로 최적화하여 광선 히트 거리를 줄일 수 있다.

[0388] 본 개시가 속하는 분야의 숙련된 기술자는 레이어화된 장면 분해 요소 이미지를 성공적으로 인코딩할 수 있는 다수의 렌더링 방법 및 렌더링 방법의 조합이 존재함을 이해할 것이다. 다른 렌더링 방법은 시스템의 기본 계산 아키텍처, 이용된 샘플링 방식 및 라이트 필드 디스플레이의 항등 함수 α 에 따라 다른 상황에서 효율성을 제공할 수 있다.

[0389] 코텍 디코딩/디코딩

[0390] 본 개시에 따른 디코딩은 인코딩 전략(샘플링 및 렌더링)을 이용하도록 설계된다. 다운 샘플링된 레이어화된 라이트 필드의 세트로서의 코어 표현은 라이트 필드 LF^0 및 LF^P 를 재구성하기 위해 디코딩된다. 레이어화된 장면 분해 $L = (K_1, K_2, L^0, L^P)$ 및 관련 샘플링 방식 $S = (M_s, R)$ 을 갖는 디스플레이 $D = (M_x, M_y, N_u, N_v, f, \alpha, D_{LP})$ 를 고려해보자. 요소 이미지는 샘플링 방식 S에 의해 특정된 바와 같이 다운 샘플링된 분해된 LF^0 및 LF^P 라이트 필드로부터 라이트 필드 LF^0 및 LF^P 를 재구성함으로써 디코딩된다. 픽셀은 디스플레이 평면에 더 가까이 위치한 내부 및 외부 절두체 부피 레이어가 먼저 검토되고, 비어있지 않은 픽셀이 위치될 때까지 디스플레이 평면으로부터 더 멀리 위치한 내부 및 외부 절두체 부피 레이어로 이동하고, 데이터가 비어있지 않은 픽셀로부터 디스플레이 평면에 더 가까운 빈 픽셀로 전송되도록 정렬한다. 대안적인 실시예에서, 특정 구현에는 라이트 필드 디스플레이의 내부 절두체 부피 또는 외부 절두체 부피로의 시정을 제한할 수 있고, 이로써 LF^0 및 LF^P 중 하나의 디코딩이 필 요하다.

[0391] 일 실시예에서, 디코딩 프로세스는 다음의 의사코드(pseudocode)로 표현된다:

[0392] Core Layered Decoding:

[0393] for each $l_i \in L^0$:

[0394] $ReconLF(LF_{l_i}, D_m[LF_{l_i}], S)$

[0395] $LF^0 = LF_{l_i} *_{\alpha} LF_{l_{i-1}} // \text{ or } LF_{l_i} *_{\alpha} LF_{l_{i+1}}$ (front-back vs. back-front)

[0396] 유사한 절차로 LF^P 를 재구성한다. 각각의 레이어화된 장면 분해 레이어는 주어진 샘플링 방식 S에 의해 정의된 제한된 샘플로부터 재구성된다. 내부 절두체 부피 레이어 또는 외부 절두체 부피 레이어 각각은 LF^0 또는 LF^P 를 재생성하기 위해 병합된다.

[0397] ReconLF는 다양한 계산 및 코텍 후 이미지 품질 특성으로 다양한 형태로 실행될 수 있다. ReconLF 입력은 주어진 샘플링 방식 S 및 대응하는 다운 샘플링된 깊이 맵 $D_m[LF_{l_i}]$ 에 의해 정의된 LF_{l_i} 데이터의 서브 세트이다. Graziosi 등에 의해 설명된 바와 같이, 깊이 이미지 기반 렌더링(DIBR)은 입력 라이트 필드를 재구성할 수 있다. DIBR은 원근법적 렌더링 방법으로 분류될 수 있다. 재투영 기술과 대조적으로, Widmer 등에 의해 교시되는 스크린 스페이스 레이 캐스팅(screen space ray casting)과 같은 레이 캐스팅 방법은 라이트 필드를 재구성할 수 있다. 레이 캐스팅은 재투영보다 더 큰 유연성을 가능하게 하지만, 계산 리소스 요구를 증가시킨다.

[0398] DIBR 접근법에서, 샘플링 방식(S)에서 특정된 요소 이미지는 라이트 필드로부터 누락된 요소 이미지를 합성하기 위한 참조 "뷰"로서 사용된다. Vincent Jantet의 "Layered Depth Images for Multi-View Coding" 및 Graziosi

에 의해 설명된 바와 같이, 시스템이 DIBR 재구성을 사용할 때, 프로세스는 일반적으로 포워드 워핑 (forward warping), 병합 및 역 투영(back projection)을 포함한다.

[0399] 역투영 기술의 적용은 요소 이미지와 같은 합성된 뷰에서 크랙 및 샘플링 아티팩트를 생성하는 것을 피한다. 역투영은 요소 이미지의 깊이 맵 또는 시차 맵이 타겟 이미지를 재구성하는데 필요한 기준 이미지와 함께 합성된다고 가정한다. 이러한 합성은 일반적으로 포워드 워핑 프로세스를 통해 발생한다. 타겟 이미지에서 각각의 픽셀에 대한 시차값으로, 시스템은 기준 이미지에서 대응하는 위치로 픽셀을 워핑하고; 일반적으로 이 참조 이미지 위치는 정수 픽셀 그리드에 정렬되지 않으므로 인접 픽셀값으로부터의 값을 보간해야 한다. 당업계에 공지된 역투영의 구현은 간단한 선형 보간을 사용한다. 그러나 선형 보간은 문제가될 수 있다. 워핑된 기준 이미지 위치가 객체 에지 경계에 있거나 그 근처에 있는 경우, 에지 경계를 가로지르는 정보가 보간 연산에 포함되기 때문에 보간된 값은 중요한 아티팩트를 나타낼 수 있다. 합성된 이미지는 "번지거나(smeared)" 또는 흐릿한 에지(blurred edge)로 생성된다.

[0400] 본 개시는 보간 서브 단계를 위한 역투영 기술을 제공하여, 번지거나 흐릿한 에지 없이 고품질 합성 이미지를 생성한다. 본 개시는 에지 적응 보간(EAI)을 도입하는데, 여기서 시스템은 깊이 맵 정보를 통합하여 참조 이미지에서 워핑된 픽셀의 색상을 계산하기 위해 보간 연산에 의해 요구되는 픽셀을 식별한다. EAI는 저역 통과 필터링 연산 중에 에지를 조정하고 유지하는 비선형 보간 절차이다. 타겟 이미지 $I_t(x, y)$, 기준 이미지 $I_r(x, y)$ 및 깊이 맵 $D_m(I_t)$ 및 $D_m(I_r)$ 을 갖는 디스플레이 $D = (M_x, M_y, N_u, N_v, f, \alpha, D_{LP})$ 를 고려해보자. 본 개시는 깊이 맵 $D_m(I_t)$ 핀홀 카메라 파라미터 (f, α , 등) 및 디스플레이의 평면 파라미터화된 핀홀 프로젝트의 어레이의 상 대적인 위치를 이용하여 각 I_t 픽셀 정수 (x, y) 를 I_r 의 실수 위치 (x_w, y_w) 로 워핑시킨다. (x_w, y_w) 가 정수 좌표 위치에 있지 않은 유사한 시나리오에서는, I_r 정수 샘플을 기반으로 값을 재구성해야 한다.

[0401] 당업계에 알려진 선형 보간은 2X2 픽셀 지역(pixel neighborhood)에 위치한 4 개의 가장 가까운 정수 좌표로부터 $I_r(x_w, y_w)$ 를 재구성한다. 대안적인 재구성 방법은 더 큰 지역(예를 들어 3X3 픽셀 지역)을 사용하여 변화하는 재구성 품질(varying reconstruction quality)로 유사한 결과를 생성한다(Marschner 등의 "An evaluation of reconstruction filters for volume rendering" 참조). 이 선형 보간은 신호의 기본 형상에 대한 지식이 없다. 번짐 또는 흐릿한 에지 이미지는 재구성에서 이미지의 에지에 의해 분리된 다른 객체에 속하는 픽셀 지역을 사용할 때 발생한다. 다른 객체의 색상이 잘못 포함되면 고스팅 아티팩트(ghosting artifact)가 발생한다. 본 개시는 복수의 객체가 중첩할 때 생성된 에지의 존재를 예측하기 위해 깊이 맵 $D_m(I_r)$ 을 사용함으로써 픽셀 지역을 가중화(weigh)하거나 생략하는 방법을 제공함으로써 이러한 재구성 문제를 해결한다.

[0402] 도 3a는 텍스처(80, 83)을 도시하며, 여기서 검은 점으로 도시된 샘플링 위치는 재구성되는 다른 이미지로 역투영된다. 샘플링 위치는 흰색 배경의 어두운 객체의 경계 근처에 위치된다. 제1 재구성 매트릭스(81)에서, 전체 2X2 지역은 선형 보간과 같은 공지된 기술을 사용하여 샘플링 위치값을 재구성한다. 이는 어두운 객체가 재구성에 포함되기 때문에 흰색이 아닌 픽셀(82)을 초래한다. 제2 재구성 매트릭스(84)는 본 개시의 EAI 기술을 사용하여, 3 개의 이웃하는 흰색 픽셀로부터 샘플링 위치를 재구성한다. EAI는 객체 에지를 검출하고 어두운 픽셀(87)을 생략하여 올바른 흰색 픽셀 재구성(85)을 만든다.

[0403] 타겟 이미지 $I_t(x, y)$ 의 고정된 임의의 좌표 (x_r, y_r) 의 경우, d_t 는 위치 깊이를 정의한다:

[0404]
$$d_t = D_m[I_r(x_r, y_r)]$$

[0405] 타겟 이미지 좌표 (x_r, y_r) 는 기준 이미지 좌표 (x_w, y_w) 로 워핑한다.

[0406] (x_w, y_w) 에 가까운 지점의 m 크기 지역의 경우, 세트는 $N_S = \{(x_i, y_i) | 1 \leq i \leq m\}$ 이다. 이웃들의 각각에 대한 가중치는 다음과 같이 정의된다:

[0407]
$$w_i = f(d_t, D_m[I_r](x_i, y_i))$$

[0408] 여기서 w_i 는 인덱스 i 에 대응하는 이웃의 깊이 (x_w, y_w) 및 깊이 (x_r, y_r) 의 함수이다. 다음 방정식은 주어진 임계값 t_e 에 대한 유효 w_i 를 나타낸다:

$$w_i = \begin{cases} 1 & |d_t - D_m[L_r](x_i, y_i)| < t_e \\ 0 & |d_t - D_m[L_r](x_i, y_i)| \geq t_e \end{cases}$$

[0409]

임계값 t_e 는 특징 사이즈 파라미터이다. 가중치 함수는 $L_r(x_r, y_r)$ 을 어떻게 재구성할지 결정한다:

[0410]

$$L_r(x_r, y_r) = \text{Recon}(w_1 L_r(x_1, y_1), (w_2 L_r(x_2, y_2), \dots (w_m L_r(x_m, y_m)))$$

[0411]

Recon 함수는 간단한 수정된 선형 보간일 수 있으며, 여기서 w_i 가중치는 표준 가중치 절차와 통합되고 총 가중치 1을 유지하도록 다시 정규화 (re-normalized) 된다.

[0412]

본 개시는 또한 레이어화된 장면 분해를 재구성하기 위한 성능 최적화된 디코딩 방법을 제공한다. 레이어화된 장면 분해 $L = (K_1, K_2, L^0, L^P)$ 및 관련 샘플링 방식 $S = (M_S, R)$ 을 갖는 디스플레이 $D = (M_x, M_y, N_u, N_v, f, \alpha, D_{LP})$ 를 고려하자. 요소 이미지는 샘플링 방식 S 에 의해 특정된 바와 같이 다운 샘플링된 분해된 LF^0 및 LF^P 라이트 필드로부터 라이트 필드 LF^0 및 LF^P 를 재구성함으로써 디코딩된다. 위에서 언급된 바와 같이, 특정 구현은 라이트 필드 디스플레이의 내부 절두체 부피 또는 외부 절두체 부피를 보는 것을 제한할 수 있어, 이로써 LF^0 또는 LF^P 중 하나의 디코딩이 필요하다.

[0413]

LF^0 는 샘플링 방식 S 에 의해 특정된 요소 이미지를 디코딩함으로써 재구성될 수 있다. 특정 레이어에 대한 ReconLF 방법은 누락된 요소 이미지의 누락된 픽셀들이 재구성되는 순서에 관한 고유한 제약을 포함하지 않는다. 본 개시의 목적은 처리량을 최대화하는 방법을 사용하여 누락된 픽셀을 재구성하는 것이다; 효과적인 라이트 필드 디스플레이에 대해 충분히 큰 라이트 필드는 대화식 프레임 레이트로 콘텐츠를 제공하기 위해 예외적인 양의 데이터 처리량이 필요하므로 개선된 재구성 데이터 전송이 요구된다.

[0414]

도 3b는 픽셀 어레이를 재구성하기 위한 일반적인 프로세스 흐름을 예시한다. 재건이 시작되고(30) 샘플링 방식이 실행된다(31). 그런 다음 픽셀은 어레이의 열(32)에 의해 합성되고 행(33)에 의해 합성되며, 이는 어느 순서로든 수행될 수 있다. 열과 행에 의해 모든 픽셀의 합성이 완료되면 픽셀 재구성이 완료된다(34).

[0415]

본 개시는 대화식 프레임 레이트에서 콘텐츠에 대한 개선된 데이터 전송으로 픽셀 재구성을 개선하기 위한 기초 제약 세트를 도입한다. ReconLF에 대한 입력으로 $M_x \times M_y$ 요소 이미지를 포함하는 단일 라이트 필드 $L_i \in L_o$ 를 고려한다. 픽셀(즉, 요소 이미지)은 2 개의 기초 패스(basic pass)로 재구성된다. 각 패스는 요소 이미지의 어레이의 개별 차원에서 작동한다; 시스템은 제1 패스를 열 디코딩으로서 실행하고, 제2 패스를 행 디코딩으로서 실행하여 각 픽셀을 재구성한다. 본 개시는 열 디코딩에 이어서 행 디코딩을 사용하는 시스템을 설명하지만, 행 디코딩에 이어서 열 디코딩을 사용하는 시스템이 또한 사용될 수 있기 때문에, 이는 본 개시의 범위 및 사상을 제한하는 것으로 의도되지 않는다.

[0416]

제1 패스에서, 샘플링 방식 S 에 의해 특정된 요소 이미지는 누락된 픽셀을 채우기 위해 참조 픽셀로 사용된다. 도 4는 행렬의 요소 이미지를 B 또는 파란색 픽셀(60)로 나타낸 것이다. 누락된 픽셀(61)은 동일한 열의 참조 픽셀에서 엄격하게 합성된다. 도 5는 적색 픽셀(62) 및 청색 픽셀(60)의 칼럼 방식 재구성(63)을 보여주는 이미지(픽셀) 재구성 프로세스의 일부로서 픽셀 매트릭스의 칼럼 방식 재구성을 개략적으로 도시한다. 이 새로 합성된 열 방향 픽셀은 그림 5에서 파란색 픽셀(60) 및 누락된 픽셀(61) 옆에 R 또는 빨간색 픽셀(62)로 표시된다. 새로 재구성된 픽셀은 버퍼에 기록되고 두 번째 패스에 대한 추가 픽셀 참조 역할을 하며, 다른 요소 이미지와 동일한 행에 있는 픽셀 참조 픽셀을 재구성한다. 도 6은 열 단위 재구성(63)과 함께 이미지(픽셀) 재구성 프로세스의 일부로서 픽셀 매트릭스의 후속 행 단위 재구성(64)을 도시한다. 이 새로 합성된 행 방향 픽셀은 G로 표시되거나 파란색 픽셀(60) 및 빨간색 픽셀(62) 옆에 녹색 픽셀(65)이다.

[0417]

일 실시예에서, 픽셀 어레이를 재구성하기 위한 프로세스는 다음 의사코드 알고리즘으로 표현된다:

[0418]

Dimensional Decomposition Light Field Reconstruction:

[0419]

Pass 1:

[0420]

for each row of elemental images in L_i

[0421]

- [0422] for each missing elemental image in the row
- [0423] for each row in elemental image
- [0424] load (cache) pixels from same row in reference images
- [0425] for each pixel in missing row
- [0426] reconstruct pixel from reference information and write
- [0427] Pass 2:
- [0428] for each column of elemental images in L_i
- [0429] for each missing elemental image in the column
- [0430] for each column in elemental image
- [0431] load (cache) reference pixels from same column
- [0432] for each pixel in missing column
- [0433] reconstruct pixel from reference information and
- [0434] write
- [0435] 이 성능 최적화된 디코딩 방법은 행 디코딩 및 열 디코딩 제약이 재구성 연산에 필요한 효과적인 작업 데이터 세트를 제한할 수 있게 한다.
- [0436] 누락된 요소 이미지의 단일 행을 재구성하기 위해, 시스템은 기준 요소 이미지로부터 대응하는 행의 픽셀만을 요구한다. 마찬가지로, 누락된 요소 이미지의 단일 열을 재구성하기 위해, 시스템은 기준 요소 이미지로부터 대응하는 열의 픽셀만을 요구한다. 이 방법은 이전에 업계에서 공지된 디코딩 방법이 디코딩을 위해 전체 요소 이미지를 필요로 하기 때문에 더 작은 데이터 세트를 필요로 한다.
- [0437] 상대적으로 큰 요소 이미지 사이즈를 디코딩하는 경우에도, 누락된 요소 이미지의 행 및 열이 재구성되는 동안 감소된 데이터 세트는 버퍼에 저장될 수 있고, 이로써 향상된 데이터 전송을 제공한다.
- [0438] 모든 렌더링된 데이터가 디코딩되고, 복수의 내부 및 외부 디스플레이 부피 레이어 각각이 재구성되면, 레이어는 단일 내부 디스플레이 부피 레이어 및 단일 외부 디스플레이 부피 레이어로 병합된다. 레이어화된 장면 분해 레이어는 단계적 압축 해제에서 부분적으로 압축 해제될 수 있거나, 동시에 완전히 압축 해제될 수 있다. 알고리즘적으로 레이어화된 장면 분해 레이어는 전면에서 후면 또는 후면에서 전면 프로세스를 통해 압축을 해제할 수 있다. 최종 이중 절두체 병합 프로세스는 내부 및 외부 디스플레이 부피 레이어를 결합하여 라이트 필드 디스플레이를 위한 최종 라이트 필드를 생성한다.
- [0439] *레이어화된 장면 분해와 함께 전산 신경망의 사용*
- [0440] Martin은 CNN(Convolutional Neural Networks)을 제시하는 라이트 필드에서의 딥 러닝에 대해 논의한다. 다른 라이트 필드 문제에 대한 딥 러닝에 대한 연구도 진행 중이다. 네트워크가 엔드 투 엔드로 훈련하는 방식이 점점 더 인기를 얻고 있기 때문이다. 이는 네트워크가 당면한 문제의 모든 측면을 학습한다는 것을 의미한다. 예를 들어 뷰 합성에서 이는 네트워크의 특정 부분을 모델링하기 위해 모양 흐름, 이미지 인페인팅 및 깊이 이미지 기반 렌더링과 같은 컴퓨터 비전 기술을 사용하는 것을 방지한다. Martin은 라이트 필드 볼륨 렌더링을 위한 뷰 합성을 위한 파이프라인 개념의 프레임워크를 제시한다. 이 파이프라인은 본원에 개시된 레이어화된 장면 분해 방법으로 구현될 수 있는 능력이 있다.
- [0441] 레이어화된 장면 분해는 다차원 장면 분해를 레이어, 서브세트 및 요소 이미지, 또는 서브섹션으로 달성한다. 머신 러닝은 뷰 합성의 학습 기반 방법으로 부상하고 있다. 레이어화된 장면 분해는 라이트 필드를 레이어로 분해한 후 다운샘플링하는 방법을 제공한다. 이전에는 Lambertian 음영 처리된 표면이 있는 불투명 표면 렌더링의 컨텍스트에서 고려되었다. 원하는 것은 이전과 같이 라이트 필드를 다운샘플링하는 방법이지만 반투명 표면을 포함하는 고차 라이트 모델, 예를 들어 직접 볼륨 렌더링 기반 라이트 모델에 적용할 수 있다. 볼륨 렌더링 기술에는 직접 볼륨 렌더링(DVR), 텍스처 기반 볼륨 렌더링, 볼류메트릭 라이트, 그림자가 있는 2단계 볼륨 렌더링 또는 절차적 렌더링이 포함되지만 이에 국한되지 않는다.

[0442] 직접 볼륨 렌더링은 다음과 같은 렌더링 프로세스이다. 볼륨(예: 스칼라 필드의 복셀 기반 샘플링) 데이터세트에서 중간 기하형상(등가곡면 없음) 없이 렌더링된 이미지로 매핑한다. 일반적으로 데이터에 의해 정의된 스칼라 필드는 반투명한 발광 매체로 간주된다. 전달 함수는 필드가 불투명도 및 색상에 매핑되는 방법을 지정하고 광선 캐스팅 절차는 카메라에서 볼륨을 통과하는 경로를 따라 로컬 색상, 불투명도를 누적한다.

[0443] Levoy(1988)는 직접 볼륨 렌더링 방법이 데이터에서 지오메트리 표면을 명시적으로 추출하지 않고 3D 볼륨 데이터 세트의 이미지를 생성한다고 처음 제시했다. Kniss et al은 데이터 세트는 공간에서 연속 함수로 해석되지만 실제 목적을 위해 샘플의 균일한 3D 배열로 표현된다. 그래픽 메모리에서 볼륨 데이터는 2D 텍스처 슬라이스의 스택 또는 단일 3D 텍스처 개체로 저장된다. 복셀(voxel)이라는 용어는 "그림 요소"에 대한 픽셀 및 "텍스처 요소"에 대한 텍셀이라는 용어와 유사한 개별 "볼륨 요소"를 나타냅니다. 각 복셀은 데이터 공간의 위치에 해당하며 하나 이상의 데이터 값이 연결되어 있다. 중간 위치의 값은 인접한 볼륨 요소의 데이터를 보간하여 얻는다. 이 프로세스를 재구성이라고 하며 볼륨 렌더링 및 처리 응용 프로그램에서 중요한 역할을 한다.

[0444] 광학 모델의 역할은 빛이 볼륨 내의 입자와 상호 작용하는 방식을 설명하는 것이다. 더 복잡한 모델은 라이트(로컬) 및 체적 그림자를 고려하여 광산란 효과를 설명한다. 광학 파라미터는 데이터 값에 의해 직접 지정되거나 데이터의 특정 기능을 분류하기 위해 데이터에 하나 이상의 전달 함수를 적용하여 계산된다.

[0445] Martin은 볼륨 데이터 세트를 사용하여 볼륨 렌더링을 구현하고 깊이 버퍼를 제공하여 각 개별 픽셀 위치에 깊이 값을 할당한다. 깊이 버퍼 또는 z-버퍼는 픽셀 시차로 변환되고 깊이 버퍼 값 $Z_b Z_c = 2 \cdot Z_b Z_c - 1$ 과 같이 $[-1, 1]$ 범위의 정규화된 좌표로 변환된다. 그런 다음 원근 투영 다음과 같이 아이 스페이스(eye space) Z_e 에 깊이를 주기 위해 반전(invert)된다:

$$Z_e = \frac{2 \cdot Z_n \cdot Z_f}{Z_n + Z_f - Z_c(Z_f - Z_n)}$$

[0446] 여기서 Z_n 은 카메라의 근거리 평면의 깊이이고 Z_f 는 아이 스페이스에서 원거리 평면의 깊이이다. Wanner et al은 Z_n 은 깊이 버퍼 정확도를 향상시키기 위해 가능한 한 높게 설정되어야 하지만 Z_f 는 정확도에 거의 영향을 미치지 않는다. 아이 깊이(eye depth) Z_e 가 주어지면 다음과 같은 유사한 삼각형을 사용하여 실수 단위의 시차 값으로 변환할 수 있다:

$$dr = \frac{B \cdot f}{Z_e} - \Delta x$$

[0447] 여기서 B는 격자에서 인접한 두 카메라 사이의 거리, f는 카메라의 초점 거리, Δx 는 두 이웃 카메라의 기본 점 사이의 거리이다. 유사한 삼각형을 사용하여 실제 단위의 불일치를 다음과 같이 픽셀들의 불일치로 변환할 수 있다:

$$dp = \frac{dr W_p}{W_r}$$

[0448] 여기서 dp 및 dr은 각각 픽셀 및 실제 단위의 시차를 나타내고 W_p 는 픽셀 단위의 이미지 너비이고 W_r 은 실제 단위의 이미지 센서 너비이다. 실제 단위의 이미지 센서 너비를 알 수 없는 경우 W_r 은 카메라 시야 θ 와 초점 거리 f에서 다음과 같이 계산할 수 있다:

$$W_r = 2 \cdot f \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

[0449] 뷰 합성은 또한 위평을 통해 공식화될 수 있다. 뒤틀림은 새로운 뷰들을 합성하는 간단한 방법이지만 뒤틀린 이미지의 시각적 품질을 저하시킬 수 있는 시각적 아티팩트를 생성할 수 있다. 이러한 아티팩트 중 가장 일반적인 것은 분리(disocclusions), 균열(cracks) 및 고스팅(ghosting)이다.

[0450] 전경 객체(foreground object)가 워프되고 기준 뷰가 현재 뷰에 있는 배경 픽셀에 대한 데이터를 포함하지 않을 때 차폐 아티팩트 또는 "폐쇄 홀"이 발생한다. 폐쇄 홀(occlusion hole)들은 사용 가능한 배경 정보로 홀을 채우거나 추가 참조 또는 잔류 정보로 캡처한 실제 데이터로 홀을 채우면 수정할 수 있다.

[0451] 워프 균열은 표면을 워핑할 때 발생하며 기준 뷰에서 인접한 2개의 픽셀이 새로운 뷰로 워핑되어 이제 더 이상

인접하지만 적은 수의 픽셀에 의해 분리된다. 라운딩 에러는 새로 계산된 픽셀 좌표가 정수 이미지 좌표로 잘려야 인접 픽셀이 다르게 라운드될 수 있기 때문에 뒤틀림 균열을 일으킬 수 있다. 샘플링 주파수는 픽셀 수를 증가시키는 방향, 즉 카메라에 기울어진 평면과 수직으로 보이는 방향으로 표면을 워핑함으로써 워프 균열(warp crack)들을 일으킬 수 있다. 새로운 뷰는 참조 카메라의 샘플링 주파수를 벗어난 픽셀을 표시하려고 하므로 새로운 이미지에 균열이 발생한다.

[0456] 고스팅은 역방향 워핑 보간 단계 동안 발생할 수 있다. 여기서 후면 투영 픽셀 이웃에는 배경 및 전경 개체의 픽셀이 모두 포함된다. 전경의 픽셀은 색상 정보를 배경으로 번지게 하여 "헤일로(halo)" 또는 고스트 효과를 유발할 수 있다. 이러한 현상은 일반적으로 폐색 홀 주변에서 발생하고 전경색이 배경으로 번지게(bleed) 된다.

[0457] 포워드 워핑의 주요 문제점 중 하나는 워프된 이미지가 화질을 저하시키는 워프 균열을 포함할 수 있다는 것이다. 포워드 워핑으로 생성된 깊이 맵은 다른 참조에서 워프된 여러 뷰를 병합하거나 크랙 필터를 적용하여 쉽게 수정할 수 있다. 중앙값 필터와 같은 필터는 깊이 맵이 객체 주변의 대부분 미묘한 그라디언트 또는 가장자리를 포함하는 매우 낮은 빈도의 이미지이기 때문에 균열을 효과적으로 제거할 수 있다. 이러한 간단한 필터는 개체 텍스처의 복잡성으로 인해 컬러 이미지에서 작동하지 않는다. 컬러 이미지의 뒤틀림 균열을 제거하는 방법은 뒤로 뒤틀림을 사용하는 것이다. 뒤로 워핑에서는 먼저 깊이 이미지를 앞으로 워핑하여 새 뷰의 깊이 맵을 얻는다. 균열이 생긴 깊이 맵을 필터링한 후 필터링된 깊이를 사용하여 기준 이미지로 다시 워프한다. 균열이 발생하는 것을 방지하려면 픽셀 좌표를 반올림하지 않고 대신 픽셀 이웃을 선택하고 실제 픽셀 가중치를 사용하여 올바른 색상을 보간한다. 이러한 백워드 워핑 컬러 이미지는 이제 균열이 없다. 보간 단계의 부작용은 고스팅 아티팩트가 발생할 가능성이 있다.

[0458] Martin이 제시한 특정 사용 사례에서는 프로그래시브 렌더링이 제대로 작동하지 않을 수 있으므로 시변 4D 볼륨 데이터의 대화식 보기에는 대화식 직접 볼륨 렌더링이 필요하다. 대화형 직접 볼륨 렌더링의 예시의 유스 케이스에는 회전 중 아티팩트 없는 정적 복셀 기반 데이터의 렌더링, 시간에 따라 변하는(time-varying) 복셀 기반(예: 4D MRI 또는 초음파, CFD, 파동, 기상, 시각 효과 렌더링 (OpenVDB) 및 기타 물리적 시뮬레이션 등) 데이터가 포함되지만 이에 국한되지는 않는다.

[0459] 제안된 솔루션에는 다양한 재료의 밀도를 색상에 매핑한 다음 투명도 수준에 매핑하는 방법을 전달하는 특정 전달 함수로 잠재적으로 제한된 체적 장면 뷰를 "왜곡"하는 방법을 학습하기 위한 기계 학습 사용이 포함된다. 고정된 전달 함수의 경우 전산 신경망은 적당한 크기의 데이터 세트에 매우 잘 훈련되어 볼륨 데이터에만 작동하고 특정 전달 함수에만 작동하는 디코더를 정의하는 데 사용할 수 있다. 가능한 결과는 원하는 전달 함수가 선택될 때 데이터를 디코딩할 수 있도록 제공된 다른 훈련 데이터 세트에서 디코더를 약간 변경하는 하드웨어 시스템 또는 디코딩 시스템이다.

[0460] 본 명세서에서 제안하는 방법은 4차원 볼륨 데이터의 렌더링에 적합하다. 현재 하드웨어 및 하드웨어 기술을 사용하여 볼륨 데이터의 라이트 필드를 무작위로 렌더링하는 것은 매우 어렵다. 제안된 것은 디코더를 사용하여 렌더링 및 디코딩된 볼륨 데이터의 레이아웃된 장면 분해를 생성하는 것이다. 데이터 디코딩은 누락된 픽셀 또는 요소 이미지를 효과적으로 채우는 것이다. 열 디코딩에 이어 행 디코딩을 사용하는 시스템을 사용하여 더 작은 버전의 문제를 해결하기 위해 컨볼루션 신경망을 훈련할 수 있으며, 또한 행 디코딩에 이어 열 디코딩을 사용하는 시스템을 사용할 수도 있다. Martin은 시차 맵을 사용하여 빠르고 정확한 이미지 워핑을 수행하기 위해서는 쌍선형 보간법을 사용한 역방향 워핑 형태가 구현되어야 한다고 교시한다. 중앙 뷰에 대한 추정된 불일치 맵은 모든 보기에 대한 추정값으로 사용된다. 기준 뷰의 경계 외부에 있는 위치에서 데이터를 읽어야 하는 새로운 뷰의 픽셀은 대신 기준 뷰에서 가장 가까운 경계 픽셀을 읽도록 설정된다. 기본적으로 이것은 홀을 생성하는 것이 아니라 새로운 보기에서 참조 보기의 경계를 늘린다. 워프 픽셀은 정수 위치에 거의 떨어지지 않기 때문에 쌍선형 보간이 적용되어 기준 뷰에서 가장 가까운 4개의 픽셀에서 정보를 누적한다. 그 결과 홀이 없는 빠른 뒤틀림과 정확도가 향상된다. Martin은 이 보정 기능을 적용하기 위해 신경망을 훈련하는 방법을 추가로 공개한다. 이에 대한 개선 사항은 레이아웃된 장면 분해와 호환되는 신경망을 가르치는 것이다. 이것은 해당 레이어, 각 깊이에 대해 특별히 훈련된 레이아웃된 장면 분해 내의 각 레이어에 대해 컨볼루션 신경망을 적용하도록 더 확장될 수 있다. 그런 다음 신경망은 행 재구성을 수행하도록 설정되고 다른 신경망은 열 재구성을 수행하도록 설정된다.

[0461] 선택한 기준에 따라 라이트 필드 디스플레이 시뮬레이터를 사용하여 신경망을 훈련할 수 있다. 라이트 필드 디스플레이 시뮬레이터는 시뮬레이션된 가상 3차원 라이트 필드 디스플레이의 파라미터화를 탐색하는 고성능 방법을 제공한다. 이 방법은 계산 프로세스의 일부로 표준 이미지 생성 방법을 사용하여 시뮬레이션된 라이트 필드

디스플레이의 가상 관찰자의 뷰를 시뮬레이션한다. 표준 이미지 방법은 시뮬레이션된 라이트 필드 디스플레이와 그 위에 디스플레이된 라이트 필드 콘텐츠를 생성하기 위한 강력하고 빠르고 다양한 방법을 제공한다.

[0462] 고차 라이팅 모델

[0463] 컴퓨터 그래픽에서 불투명 유전체의 색상은 Lambertian 반사율(reflectance)로 모델링될 수 있다. 색상은 시야 각에 대해 일정한 것으로 간주된다. 이는 동일한 Lambertian(또는 Lambertian에 가까운) 반사율을 기반으로 하는 업계에서 사용되는 표준 색상 측정 방법과 관련이 있다.

[0464] 레이어화된 장면 분해의 기본 개념은 장면을 세트 및 서브세트로 분할한 다음 라이트 필드의 형성을 위해 이러한 분할을 재구성할 수 있는 능력이다. 이 개념은 뒤트림을 통해 레이어에서 누락된 요소 이미지를 재구성하기 위해 픽셀을 뒤트릴 수 있는 기능을 기반으로 한다. 더 자세하게, 카메라의 이미지가 왼쪽에서 오른쪽으로 이동할 때 발생하는 지오메트리 이동을 기반으로 한 이미지의 특정 지점의 광도가 약간 다른 픽셀 위치의 다른 이미지에 매핑된다. 여기에 설명된 워핑 방법이 레이어 내의 누락된 픽셀을 정확하게 재구성하는 데 사용될 수 있다는 가정은 한 이미지에서 다음 이미지로 매핑하는 픽셀이 Lambertian 라이트 모델에서와 같이 동일한 색상을 갖는다는 것이다.

[0465] 라이트 필드는 특히 Lambertian 라이트 모델의 가정 하에 제한될 때 상당한 중복성을 갖는다. 각 요소 이미지는 주변 이미지와 매우 약간 다른 것을 관찰할 수 있다. 이 중복성은 플렌옵틱 샘플링 이론 하의 문헌에 설명되어 있다. Lambertian 라이트 모델은 유용한 그래픽에 충분하지만 지나치게 현실적이지는 않는다. 객체의 광택, 헤이즈 및 고니오크로마틱 색상을 포착하기 위해 Phong 모델의 반사 지수, Ward 모델의 표면 거칠기 및 Cook-Torrance의 표면 거칠기를 포함하되 이에 국한되지 않는 대체 모델을 조사한다. 광택(gloss)은 정반사 크기의 척도로 정의될 수 있고, 헤이즈는 정반사 로브의 너비를 캡처하는 파라미터로 정의될 수 있다.

[0466] 본원이 제시하고 있는 레이어화된 장면 분해 방법의 뷰 합성 측면과 함께 대체 라이트 모델을 활용하기 위해, 음영이 재구성된 픽셀에 후처리로 적용될 수 있다고 제안된다. 이러한 후처리는 워핑 프로세스(또는 다른 뷰 합성 재구성)가 발생한 후에 발생한다. 라이트 위치 또는 포인트에 대한 표면 법선 정보는 인코딩된 라이트 필드 데이터에 알려지고 포함될 수 있다. 이 인코딩된 라이트 위치 목록은 디코더가 반사 성분을 계산하기 위해 레이어의 특정 픽셀을 디코딩할 때 해당 일반 데이터를 사용할 수 있도록 한다. 표면에 반사 성분이 있는지 없는지 또는 어느 정도 숫자로 정량화될 수 있는지와 같은 다른 파라미터가 라이트 필드 데이터에 포함될 수 있다. 재료 속성은 강도 값과 함께 잠재적으로 포함될 수도 있다. 이 추가 데이터는 각 요소 이미지 또는 각 레이어 내에서 인코딩된 형식으로 전송되는 일반적인 RGB 및 깊이 데이터와 함께 전송될 수 있다. 재료 속성에는 원자, 화학적, 기계적, 열적 및 광학적 속성이 포함될 수 있지만 이에 국한되지 않는다.

[0467] RGB 및 깊이 정보와 결합하여 표면 법선을 저장하는 개념은 컴퓨터 그래픽에서 G-버퍼로 알려져 있다.

[0468] 투명도

[0469] 기존의 2D 디스플레이 컴퓨터 그래픽에서 불투명하지 않은 표면의 시각적 효과를 시뮬레이션하는 것이 종종 바람직하다. 표면 렌더링에서 이것은 일반적으로 표면 요소(예: 다각형, 정점 등)에 불투명도(투명도 및 반투명도 모두라고도 함) 측정을 할당하는 것을 포함한다.

[0470] 이러한 표면으로 구성된 3D 장면이 특정 가상 카메라 보기에서 렌더링될 때 각 표면 요소에 대한 투명도 측정은 한 표면 요소에 의해 가려진 표면이 차단되지 않은 전면을 통해 광학적으로 번지는 정도를 결정한다. 대부분의 표면, 겹치는 표면의 혼합을 기반으로 이미지의 최종 색상 값을 계산하는 계산을 포함하여 이 프로세스를 시뮬레이션하는 다양한 방법이 있다. 물론 이 계산의 핵심은 겹치는 각 표면 요소 조각에 (1) 색상과 (2) 투명도 측정값 또는 알파, α 값이 모두 있다는 것이다.

[0471] 또한 라이트 필드 비디오 목적을 위해 투명한 표면으로 구성된 장면을 표현하고 렌더링(전송/디코딩)할 수 있는 것이 바람직할 것이다. 장면 분해 기반 표현 체계가 투명 표면에 대한 지원을 제공하기 위해 어떻게 보강될 수 있는지 설명한다.

[0472] 인코딩 프로세스 동안 색상 및 깊이 맵 외에 법선 또는 기타 광학 표면 속성이 인코딩된 표현과 함께 기록될 수 있는 방법이 설명된다. 또한 인코딩 과정에서 각 픽셀과 관련된 α (투명도) 값 α 를 추가로 기록하는 것이 가능하다고 제안된다.

[0473] 이 α 값은 투명 표면을 포함하는 장면의 라이트 필드 이미지를 생성하기 위해 디코딩 프로세스 동안 사용될 수 있다. 인코딩 동안 생성되거나 선택된 샘플링된 픽셀과 연관된 α 값은 각 레이어(또는 장면 서브세트)와 연관

된 라이트 필드가 재구성되는 재구성 프로세스 동안 깊이 값과 함께 재투영될 수 있다. 이 재투영은 깊이 이미지 기반 렌더링(DIBR)과 관련하여 설명된 바와 같이 워핑 프로세스일 수 있다. 최종 결과는 레이어 또는 서브세트와 연관된 라이트 필드의 각 픽셀이 또한 전형적인 실시예에서 투명도를 나타내기 위해 연관된 α 값을 갖도록 하는 것과 같다.

- [0474] 이 투명도 α 값을 최종 이미지에 통합하려면 일부 광학 혼합 모델을 통합하는 병합 프로세스에 연산자를 사용해야 한다. 레이어(또는 서브세트) 병합 프로세스 동안 $*m$ 연산자를 사용하여 여러 레이어(또는 서브세트 등)에 걸쳐 단일 라이트 필드 이미지 픽셀을 따라 관찰된 색상을 누적하는 수단으로 α 를 사용할 수 있다.
- [0475] 다각형 표면 기반 렌더링을 위한 레이어화된 복호화 과정은 볼륨 렌더링을 위한 과정과 자연스럽게 결합될 수 있음을 제안한다. 기본 아이디어는 이 절차에서 개별 레이어 또는 서브세트가 재구성된 다음 $*m$ 연산자를 통해 인접한 레이어와 병합된다는 것이다. 병합 연산자와 함께 볼륨 렌더링을 위한 구성 방정식을 통합해야 한다고 제안한다. 따라서 이 보다 일반적인 하이브리드 접근 방식에서 레이어 결합 연산자는 이전과 같이 병합 연산자로, 때로는 볼륨 렌더링 광선 누적 기능으로 작동하는 보다 일반적인 기능을 수행하기 때문에 보다 일반적이고 복잡해진다. 이 연산자는 $*c$ 로 표시된다.
- [0476] 도 15는 예시적인 레이어화된 장면 분해 코덱 방법을 도시하며, 이로써 이미지 디스크립션 또는 라이트 필드 데이터의 포맷의 3D 장면 데이터는 인코딩을 위해 인코더(400)에 로딩되고, 그 결과 도면에 도시된 바와 같이 데이터(서브)세트 또는 대안적으로 3D 장면을 나타내는 전체 데이터 세트가 분할된다(403). 분할을 위한 3D 장면 데이터 서브세트를 식별하는 경우(402), 상황에 따라 요구될 수 있는 바와 같이, 식별 프로세스는 데이터 세트를 하나의 패스 또는 그룹핑(grouping)(예를 들어, 도 11에 더 상세히 도시된 바와 같이 내부 절두체 및 외부 절두체 데이터 레이어를 인코딩하기 위해)으로 분할하는 능력을 단순히 지칭하기 위해 의도된 일반적인 프로세스 단계 레퍼런스(process stage reference)인 것으로 이해된다. 이와 관련하여, 데이터 서브세트의 식별은 인코딩 서브-프로세스 단계(401)의 일부를 형성하는 사전 인코딩 처리 단계 또는 처리 단계들을 의미할 수 있다. 데이터 서브세트는 레이어의 세트를 생성하기 위해 분할(3D 장면의 분해)할 시 태그되고, 특정되고, 확인되고, 스캔되고 그리고 심지어 컴파일 및 그룹핑될 수 있다. 데이터 서브세트의 분할(403) 후에, 각각의 데이터 레이어는 본 개시에 따라 샘플링 및 렌더링되어 압축된(이미지)데이터를 생성한다(404). 데이터 레이어 압축 후에 압축된 데이터는 압축 해제, 디코딩 및 재구성 단계를 포함하는 디코딩 서브-프로세스(406)를 위해 디코더(405)로 전송되어, 라이트 필드의 세트를 재구성하며(407), 본 명세서에서 "레이어화된 라이트 필드", 레이어화된 라이트 필드 이미지 및 라이트 필드 레이어로서 지칭된다. 구성된 레이어화된 라이트 필드는 병합되어 3D 장면을 표시하는(409) 최종 라이트 필드를 생성한다(408).
- [0477] 도 16은 컴퓨터 구현 방법을 나타내고, 상기 방법은,
- [0478] 장면의 3차원 설명을 포함하는 제1 데이터 세트를 수신하는 단계 (420),
- [0479] 상기 제1 데이터 세트는 상기 장면 내의 표면들상의 법선들의 방향들에 대한 정보를 포함(421)하고,
- [0480] 상기 법선들의 방향들은 기준 방향에 대해 표현(422)되고,
- [0481] 상기 표면들의 적어도 일부는 비-램버시안 반사 특성을 구비함 -;
- [0482] 상기 제1 데이터 세트를 복수의 레이어들로 파티셔닝하는 단계 - 각 레이어는 기준 위치에 대한 위치에서 상기 장면의 일부를 표현함(423) -; 및
- [0483] 제2 데이터 세트를 생성하기 위해 다중 계층들을 인코딩하는 단계를 포함하고, 상기 제2 데이터 세트의 크기는 상기 제1 데이터 세트의 크기보다 작은 것(424)을 특징으로 한다.
- [0484] 일 실시 예에서, 상기 방법은,
- [0485] 상기 제2 데이터 세트를 수신하는 단계 (425);
- [0486] 상기 레이어들의 각각 및 상기 서브섹션들의 각각에 대응하는 상기 제2 데이터 세트의 부분들을 디코딩하는 단계 (426); 및
- [0487] 상기 디코딩된 부분들을 라이트 필드 이미지의 표현으로 결합하는 단계 (427); 및
- [0488] 디스플레이 장치상에 상기 라이트 필드 이미지를 표시하는 단계 (428)를 더 포함한다.
- [0489] 도 21은 컴퓨터 구현 방법을 나타내고, 상기 방법은,

- [0490] 장면의 3차원 설명을 포함하는 제1 데이터 세트를 수신하는 단계 (420);
- [0491] 상기 제1 데이터 세트는 상기 장면의 표면들의 투명도에 대한 정보를 포함(429)함;
- [0492] 상기 제1 데이터 세트를 기준 위치에 대한 위치에서 장면의 일부를 각각 나타내는 복수의 레이어들로 파티셔닝하는 단계 (423); 및
- [0493] 제2 데이터 세트를 생성하기 위해 다중 레이어들을 인코딩하는 단계를 포함하고, 상기 제2 데이터 세트의 크기는 상기 제1 데이터 세트의 크기보다 작은 것(424)을 특징으로 한다.
- [0494] 일 실시 예에서, 상기 방법은,
- [0495] 상기 제2 데이터 세트를 수신하는 단계 (425);
- [0496] 상기 재구성된 부분들을 라이트 필드 내에 결합하는 단계 (427); 및
- [0497] 상기 라이트 필드 이미지를 디스플레이 장치상에 표시하는 단계(428)를 더 포함한다.
- [0498] 본 명세서에 기술된 발명의 더 나은 이해를 얻기 위해, 하기 예는 도면을 참조하여 설명된다. 이들 예는 본 발명의 예시적인 실시예를 설명하기 위한 것이며 어떠한 방식으로든 본 개시의 범위를 제한하려는 의도가 아님을 이해할 것이다.
- [0499] **예시들**
- [0500] 실시예 1: 라이트 필드 디스플레이를 위한 예시적인 인코더 및 인코딩 방법
- [0501] 개시의 다음의 예시적인 실시예는 본 개시가 복수의 시스템 파라미터를 성공적으로 구현할 수 있기 때문에 본 명세서에 기술되고 청구된 바와 같이 본 개시의 범위를 제한하려는 것은 아니다. 전술한 바와 같이, 본 기술 분야에서 이전에 알려진 종래의 디스플레이는 실질적으로 균일한 간격을 두고 2차원 열로 구성된 공간 픽셀로 구성되어, 이상적인 균일 샘플링을 가능하게 한다. 반대로, 3차원(3D) 디스플레이는 공간 및 각도 샘플이 모두 필요하다. 일반적인 3차원 디스플레이의 공간 샘플링이 균일하게 유지되지만, 각도 샘플은 각도 공간에서의 디스플레이의 풋 프린트 측면에서 반드시 균일한 것으로 간주될 필요는 없다.
- [0502] 예시적인 실시예에서, 복수의 라이트 필드 평면 파라미터화된 핀홀 프로젝터는 라이트 필드의 지향성 구성 요소로도 알려진 각도 샘플을 제공한다. 라이트 필드 디스플레이는 640X480 공간 해상도 및 512X512 각도 해상도를 위해 설계된다. 복수의 평면 파라미터화된 핀홀 프로젝터는 항등 함수 α 로 이상화(idealized)된다. 복수의 평면 파라미터화된 핀홀 프로젝터 각각 사이의 피치는 1mm이며, 이로써 640mmX480mm 디스플레이 스크린을 정의한다. 디스플레이는 대략적인 초점 거리 $f = 289 \mu\text{m}$ 에 대응하는 120° FOV를 갖는다.
- [0503] 이 라이트 필드 디스플레이는 640X480X512X512 = 805억 RGB픽셀을 포함한다. 각 RGB 픽셀에는 8 비트가 필요하므로, 라이트 필드 디스플레이의 하나의 프레임에는 805억 $8 \times 3 = 1.93 \text{ Tb}$ 가 필요하다. 대화형 콘텐츠를 제공하는 라이트 필드 디스플레이의 경우, 데이터는 30프레임/s로 구동되며, $1.93\text{Tb} \times 30\text{프레임/s} = 58.0\text{Tb/s}$ 의 대역폭이 필요하다. 당업계에 알려진 현재 디스플레이는 34.2Gb/s의 최대 대역폭을 제공하는 DisplayPort 기술에 의해 구동되므로, 이러한 디스플레이는 대화형 라이트 필드 디스플레이에 필요한 엄청난 대역폭을 제공하기 위해 1024 개 초과 DisplayPort 케이블이 필요하므로 비용 및 폼 팩터 설계 제약이 발생한다.
- [0504] 예시적인 실시예는 듀얼 DisplayPort 1.3 케이블 출력을 갖는 가속 GPU가 장착된 컴퓨터로부터 라이트 필드 디스플레이로 데이터를 전달한다. 본원은 40 Gb/s의 보수적인 최대 처리량을 고려한다. 인코딩된 프레임은 DisplayPort 연결을 통해 라이트 디스플레이에 물리적으로 더 가까이 위치한 디코딩 유닛으로 전송하기에 충분히 작아야 한다.
- [0505] 예시적인 실시예의 레이어화된 장면 분해는 필요한 데이터 처리량을 허용하도록 설계된다. 상기 정의된 치수에서, 라이트 필드 디스플레이의 최대 피사계 심도는 $\text{ZDOF} = (289 \text{ 미크론})(512) = 147968 \text{ 미크론} = 147.986 \text{ mm}$ 이다. 레이어화된 장면 분해는 라이트 필드 디스플레이의 피사계 심도 영역 내에 복수의 레이어화된 장면 분해 레이어를 배치하여 디스플레이 스크린으로부터 레이어화된 장면 분해 레이어의 거리가 ZDOF 미만이도록 한다. 이 예시적인 예는 디스플레이 내부 절두체 부피 내에만 위치되는 객체를 갖는 라이트 필드 디스플레이를 기술한다. 이 예시적인 예는 본 개시가 디스플레이의 외부 절두체 부피 내에만 위치되는 객체를 갖는 라이트 필드 디스플레이 또는 디스플레이의 내부 및 외부 절두체 부피 모두의 내에 위치된 객체를 갖는 라이트 필드 디스플레이와 같은 복수의 시스템 파라미터를 성공적으로 구현할 수 있기 때문에 본 개시의 범위를 제한하려는 것은 아

니다; 하나의 절두체 부피로 제한된 실시예는 더 적은 수의 레이어화된 장면 분해 레이어를 필요로 하므로, 생성될 인코딩된 라이트 필드의 사이즈를 약간 감소시킨다.

[0506] 실시예는 10 개의 레이어화된 장면 분해 레이어를 정의한다. 필요한 경우, 추가 레이어화된 장면 분해 레이어가 추가되어 폐색으로 손실될 수 있는 데이터를 캡처하거나 전체 압축률을 증가시킬 수 있다. 그러나, 추가의 레이어화된 장면 분해 레이어는 디코더로부터의 추가 계산을 요구하므로, 레이어화된 장면 분해 레이어의 수는 신중하게 선택된다. 예시적인 실시예는 그의 전방 및 후방 경계로부터 10 개의 레이어화된 장면 분해 레이어를 특정하고 레이어의 분할 평면은 디스플레이 평면에 평행하다고 가정한다.

[0507] 각의 레이어화된 장면 분해 레이어는 디스플레이 평면으로부터 정의된 거리에 위치되며, 여기서 거리는 초점 길이 f 의 배수로, 최대 피사계 심도 $512f$ 까지의 범위로 지정된다. 더 좁은 폭을 갖는 레이어화된 장면 분해 레이어는 디스플레이 평면에 더 가까이 집중되고, 레이어 폭(즉, 전방 및 후방 경계 사이의 깊이 차이)은 디스플레이 평면으로부터의 거리가 증가함에 따라 2의 거듭 제곱만큼 기하급수적으로 증가한다. 본 개시의 이 실시예는 다른 레이어 구성이 성공적으로 구현될 수 있기 때문에 본 개시의 범위를 제한하려는 것이 아니다.

[0508] 다음 표(표 1)는 예시적인 실시예의 레이어화된 장면 분해 레이어 구성을 설명하고, 서브 샘플링된 레이어화된 장면 분해 레이어를 생성하기 위해 플렌옵틱 샘플링 이론에 기초한 샘플링 방식을 제공한다:

표 1

레이어	전방 경계	후방경계	요소 이미지 해상도	샘플링된 요소 이미지들 사이 (샘플링 갭)의 최대 거리	샘플링된 요소 이미지	필요한 총 데이터 크기 (24 비트 색상, 깊이/시차에 대해 8 비트)
0	1f	1f	1x1	0	640x480	7.37Mbits
1	1f	2f	2x2	1	321x241	9.90Mbits
2	2f	4f	4x4	2	214x161	17.64Mbits
3	4f	8f	8x8	4	161x97	31.98Mbits
4	8f	16f	16x16	8	72x55	32.44Mbits
5	16f	32f	32x32	16	41x31	41.65Mbits
6	32f	64f	64x64	32	21x16	44.04Mbits
7	64f	128f	128x128	64	11x9	51.90Mbits
8	128f	256f	256x256	128	6x5	62.91Mbits
9	256f	512f	512x512	256	4x3	100.66Mbits
					Total:	400.49Mbits

[0510] 상기 표에서, 레이어 0은 당업계에 공지된 종래의 2차원 디스플레이에서와 같이, 디스플레이 스크린 평면에 디스플레이될 이미지를 캡처한다. 레이어 0에는 고정된 깊이에서 640 X 480 픽셀을 포함하므로 깊이 정보가 필요하지 않는다. 총 데이터 사이즈는 RGB 값 및 8 비트 각각에 대한 깊이 값을 갖는 각각의 픽셀에 대해 계산된다 (대안적인 실시예는 16비트와 같은 더 큰 비트값을 요구할 수 있다). 예시적인 실시예에서, 요소 이미지 해상도 및 샘플링 갭은 전술한 식으로부터 계산되고, 선택된 샘플링 방식은 요소 이미지 해상도 및 샘플링 갭 제한을 반영한다.

[0511] 상기 표에서 설명된 바와 같이, 결합된 레이어화된 장면 분해 시스템은 총 사이즈가 400.5 Mb이다. 따라서, 30 프 레임/s의 속도로 데이터를 생성하기 위해 30 X 0.4005 = 120.1 Gb/s의 대역폭이 필요하다. 장면 폐색을 나타내기 위해 필요한 추가 정보와 함께 인코딩된 형태는 듀얼 DisplayPort 1.3 케이블을 통해 전송된다.

[0512] 예시적인 실시예에서, 레이어화된 장면 분해 레이어는 인코더에 의해 구성되어, 디스플레이 평면에 더 가까이에 위치한 레이어(레이어 0 내지 5)를 생성하는 경사 렌더링 기술 및 디스플레이 평면에 더 멀리 떨어져 위치한 레이어(레이어 6 내지 9)를 생성하는 원근법적 렌더링 기술을 효율적으로 구현한다. 각 요소 이미지는 단일 렌더링 뷰에 해당한다.

[0513] 레이어 6에서, 렌더링될 개별 각도의 수($64 \times 64 = 4096$)는 렌더링될 뷰의 수($21 \times 16 = 336$)를 초과한다; 이것은 경사 및 원근법적 렌더링 방법 사이의 효율성 전환을 나타낸다. 특정 구현 양태는 정확한 최적의 전이점(exact optimal transition point)을 왜곡시키는 추가적인 오버헤드(overhead)를 제공할 수 있음에 유의해야 한다. 기술 분야에 공지된 최신 그래픽 가속 기술과 함께 사용하기 위해, 지오메트리 셰이더 인스턴싱(geometry shader instancing)을 사용하여 원근법적 렌더링이 효율적으로 구현될 수 있다. 드로우 콜을 통해 형상에 반복적으로

액세스하지 않고 정확히 동일한 데이터를 검색하기 위해 메모리에 반복적으로 액세스하지 않고 동일한 입력 장면 형상의 세트로부터 다수의 뷰가 렌더링된다.

[0514] 도 8은 내부 절두체 부피(110) 내에 10 개의 레이어화된 장면 분해 레이어(100-109)을 갖는 예시적인 실시예를 도시한다. 내부 절두체 부피 레이어는 디스플레이 스크린 평면(300)으로부터 연장한다. 레이어는 상기 표에 기술된 바와 같이 정의되며, 예를 들어, 내부 절두체 부피 레이어 0(100)의 전방 경계는 1f이고, 내부 절두체 부피 레이어 1(101)은 2f, 내부 절두체 부피 레이어 3(103)은 4f이고, 기타 등등이다. 내부 절두체 부피 레이어 0 내지 5(100-105) 및 외부 절두체 부피 레이어 0 내지 5(200-205)는 경사 렌더링 기술로 렌더링되고, 외부 절두체 부피 레이어 6 내지 9(106-109)는 원근 법적 렌더링 기술로 렌더링된다.

[0515] 도 9는 내부 절두체 부피(110)에 10 개의 레이어화된 장면 분해 레이어(100-109) 및 외부 절두체 부피(210)에 10 개의 레이어화된 장면 분해 레이어(200-209)를 갖는 대안적인 실시예를 도시한다. 내부 및 외부 절두체 부피 레이어는 디스플레이 스크린 평면(300)으로부터 연장한다. 내부 및 외부 절두체 부피 레이어는 서로 거울상으로 도시되어 있지만, 내부 및 외부 절두체 부피는 상이한 수의 레이어, 상이한 사이즈의 레이어 또는 상이한 깊이의 레이어를 가질 수 있다. 내부 절두체 부피 레이어 0 내지 5(100-105) 및 외부 절두체 부피 레이어 0 내지 5(200-205)는 경사 렌더링 기술로 렌더링되고 외부 절두체 부피 레이어 6 내지 9(106-109) 및 외부 절두체 부피 레이어 6 내지 9(206-209)는 원근법적 렌더링 기술로 렌더링된다.

[0516] 대안적인 실시예는 광선 추적 인코딩 기반 접근법으로 시스템을 구현할 수 있다. GPU가 단일 뷰의 가속 렌더링이 바람직한 종래의 2차원 디스플레이에서 대화식 그래픽에 최적화되어 있기 때문에, 완전한 레이어화된 장면 분해 레이어 표현을 렌더링하는 것은 본 명세서에 설명된 최적화를 사용하더라도 향상된 GPU 성능을 필요로 할 수 있다. 광선 추적 접근법의 계산 비용은 시스템이 렌더링할 픽셀 수의 직접 함수(direct function)이다. 레이어화된 장면 분해 레이어 시스템은 일부 2차원 단일 뷰 시스템에 필적하는 수의 픽셀을 포함하지만, 상기 픽셀의 형태 및 배열은 레이어 분해 및 대응하는 샘플링 방식으로 인해 크게 다르다. 따라서, 광선의 일부 또는 전부를 추적하는 것이 보다 효율적인 구현인 구현예가 있을 수 있다.

[0517] 실시예 2: 라이트 필드 디스플레이를 위한 코덱 디코더 및 디코딩 방법

[0518] 본 개시의 예시적인 실시예에서, 디코더는 듀얼 DisplayPort 1.3 케이블을 통해 GPU로부터 12.01GB/s의 인코딩된 코어 표현 데이터 및 임의의 잔류 표현 데이터를 수신한다. 압축된 코어 표현 데이터는 효율적인 디코딩을 구현하기 위해 맞춤형 FPGA, ASIC 또는 기타 집적 회로를 사용하여 디코딩된다(잔류 표현 데이터는 도 13에 도시된 바와 같이 별도로 디코딩됨). 12.01 GB/s 코어 표현은 최종 라이트 필드 디스플레이를 위해 58 Tb/s로 압

축 해제된다. 이 코어 표현은 패색을 렌더링하는데 필요한 잔류 표현이 포함되지 않는다. $\frac{58 \text{ Tb/s}}{12.01 \text{ GB/s}}$ 는 4833:1의 압축률을 제공한다; 이는 고성능 압축률이지만, 재구성된 라이트 필드 데이터는 잔류 표현 데이터가 재구성에 포함되지 않는 한 여전히 패색 기반 아티팩트를 나타낼 수 있다.

[0519] 도 8에 도시된 예시적인 실시예에서, 데이터는 개별 레이어화된 장면 분해 레이어를 재구성하고 재구성된 레이어를 내부 절두체 부피 레이어로 병합함으로써 디코딩된다. 도 9에 도시된 바와 같은 대안적인 실시예의 경우, 데이터는 개별 레이어화된 장면 분해 레이어를 재구성하고 재구성된 레이어를 내부 절두체 부피 레이어 및 외부 절두체 부피 레이어로 병합함으로써 디코딩된다.

[0520] 단일 레이어 장면 분해 레이어는 당업계에 알려진 이미지 기반 렌더링(Image-Based Rendering) 분야의 뷰 합성 기술을 사용하여 데이터의 주어진 샘플링 방식 샘플링으로부터 재구성될 수 있다. 예를 들어, Graziosi et al은 참조 요소 이미지를 사용하여 단일 패스에서 라이트 필드를 재구성하도록 지정한다. 이 방법은 다차원에서 재구성된 이미지로부터 참조 요소 이미지 오프셋을 사용한다. 요소 이미지 데이터는 3차원 장면 지점(RGB 색상 및 시차 포함)을 나타내기 때문에, (참조 및 타겟 요소 이미지 사이의 방향 벡터에 고정되어 있지만) 픽셀은 비선형 함수로 디코딩되므로, 디코딩 참조 요소 이미지에 동일한 사이즈의 저장 버퍼가 필요하다. 더 큰 요소 이미지를 디코딩할 때, 이는 디코딩 하드웨어에 따라 메모리 저장 또는 대역폭 제한을 생성할 수 있다.

[0521] 24비트 색상을 갖는 512X512 픽셀의 요소 이미지 사이즈를 갖는 라이트 필드 디스플레이의 경우, 디코더는 512 X 512 = 262,144 개의 24 비트 값을 저장할 수 있는 버퍼를 필요로 한다(이 예에서는 시차 비트 없음). 현재 고성능 FPGA 장치는 18/20 비트 폭 메모리 및 1024 개의 메모리 위치로 구성된 내부 블록 메모리(BRAM)를 제공하며 이는 512 개의 메모리 위치를 갖는 36/40 비트 폭 메모리로 사용될 수 있다. 비선형 디코딩 프로세스로 인해 쓰기 포트가 비결정 액세스 패턴(non-deterministic access pattern)을 사용하기 때문에 동일한 클록 사이클

(clock cycle)에서 이미지를 읽고 쓸 수 있는 버퍼는 2 개의 기준 요소 이미지를 보유할 수 있을 만큼 충분히 크다. 512X512 픽셀 이미지를 위해 FPGA 장치에서 이 버퍼를 구현하려면 1024 BRAM 블록이 필요하다. 사용된 재구성 알고리즘에 따라, 각각의 디코더 파이프라인에서 다수의 버퍼가 필요할 수 있다. 고밀도 라이트 필드 디스플레이의 데이터 속도를 충족시키기 위해, 시스템은 100개 초과의 병렬 파이프라인을 필요로 할 수 있는데, 이는 현재 FPGA 장치보다 훨씬 많은 파이프라인이다. 각각의 버퍼에는 독립적인 읽기/쓰기 포트가 필요하기 때문에 현재 ASIC 장치에서 이러한 시스템을 구현하지 못할 수 있다.

[0522] 본 개시는 픽셀 재구성 프로세스를 다수의 단일 차원 스테이지로 분할함으로써 버퍼 및 메모리 제한을 회피한다. 본 개시는 기준 요소 이미지와 타겟 사이의 방향 벡터를 정류 경로(rectified path)에 고정하기 위해 1차원 재구성을 구현한다. 재구성이 비선형으로 유지되는 동안, 타겟 위치로 이동될 기준 픽셀은 타겟 픽셀의 동일한 행 또는 열 위치에 고정된다. 따라서, 디코더 버퍼는 한번에 하나의 행 또는 하나의 열만 캡처하면 된다. 위에서 설명된 24 비트 색상을 갖는 512X512 픽셀의 요소 이미지의 경우 디코더 버퍼는 2 개의 36/40X 512 BRAM이 필요한 24 비트 폭, 1024 딥 메모리로서 구성된다. 따라서, 본 개시는 메모리 풋 프린트를 512배 또는 그 이상 감소시켰다. 이를 통해 현재 FPGA 장치에서 100개가 넘는 디코딩 파이프라인을 필요로 하는 디스플레이 픽셀 필 속도(pixel fill rate)를 지원할 수 있다.

[0523] 다단계 디코딩 아키텍처는 라이트 필드 디스플레이에서 2차원 픽셀 어레이를 재구성하기 위해 2 개의 단계를 필요로 한다. 두 단계는 서로 직교하며 요소 이미지의 행 또는 열을 재구성한다. 제1 디코딩 단계는 다음 단계 입력 픽셀과 호환되도록 정렬된 출력 픽셀을 보장하기 위해 픽셀 스케줄러(pixel scheduler)를 요구할 수 있다. 각 디코딩 단계에 필요한 매우 높은 대역폭으로 인해 로컬 스토리지 요구사항(local storage requirement)을 줄이기 위해 이전 단계로부터의 일부 출력 픽셀을 재사용해야 할 수도 있다. 이 경우, 외부 버퍼를 사용하여 제1 단계에서 모든 출력 픽셀을 캡처할 수 있으므로 후속 디코딩 단계에서 픽셀 데이터에 효율적으로 액세스하여 논리 리소스(logic resource) 및 메모리 대역폭을 줄일 수 있다.

[0524] 외부 메모리 버퍼를 이용한 본 개시의 다단계 디코딩은 디코딩 프로세스가 요구되는 메모리 대역폭을 고가의 온다이 메모리에서 DDR(double data rate) 메모리 장치와 같은 저비용 메모리 장치로 전송할 수 있게 한다. 고성능 디코딩 픽셀 스케줄러는 이 외부 메모리 버퍼로부터 최대 참조 픽셀 재사용을 보장하여 시스템이 더 좁거나 느린 메모리 인터페이스를 사용하게 한다.

[0525] 본 명세서에 언급된 모든 특허, 특허 출원, 간행물 및 데이터베이스 항목의 개시는 각각의 개별 특허, 특허 출원, 간행물 및 데이터베이스 항목이 구체적이고 참조에 의해 통합되는 것으로 개별적으로 표시된다.

[0526] 본 개시가 특정 구체 실시예를 참조하여 설명되었지만, 본 개시의 사상 및 범위를 벗어나지 않으면서 그의 다양한 수정이 당업자에게 명백할 것이다. 당업자에게 명백한 이러한 모든 수정은 다음의 청구 범위의 범위 내에 포함되는 것으로 의도된다.

[0527] 참조 목록

[0528] ALPASLAN, ZAHIR Y., EL-GHOROURY, HUSSEIN S., CAI, JINGBO. " Parametric Characterization of Perceived Light Field Display Resolution". pages 1241-1245, 2016.

[0529] BALOGH, TIBOR, KOVÁCS. The Holovizio system-New opportunity offered by 3D displays. Proceedings of the TMCE, (May):1-11, 2008.

[0530] BANKS, MARTIN S., DAVID M. HOFFMAN, JOOHWAN KIM AND GORDON WETZSTEIN. "3D Displays" Annual Review of Vision Science. 2016. pp. 397-435.

[0531] CHAI, JIN-XIANG, XIN TONG, SHING-CHOW CHAN, AND HEUNG-YEUNG SHUM. "Plenoptic Sampling"

[0532] CHEN, A., WU M., ZHANG Y., LI N., LU J., GAO S., and YU J.. 2018. "Deep Surface Light Fields". Proc. ACM Comput. Graph. Interact. Tech. 1, 1, Article 14 (July 2018), 17 pages. DOI:https://doi.org/10.1145/3203192

[0533] CLARK, JAMES J., MATTHEW R. PALMER AND PETER D. LAWRENCE. "A Transformation Method for the Reconstruction of Functions from Nonuniformly Spaced Samples" IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. October 1985. pp 1151-1165. Vol. ASSP-33, No. 4.

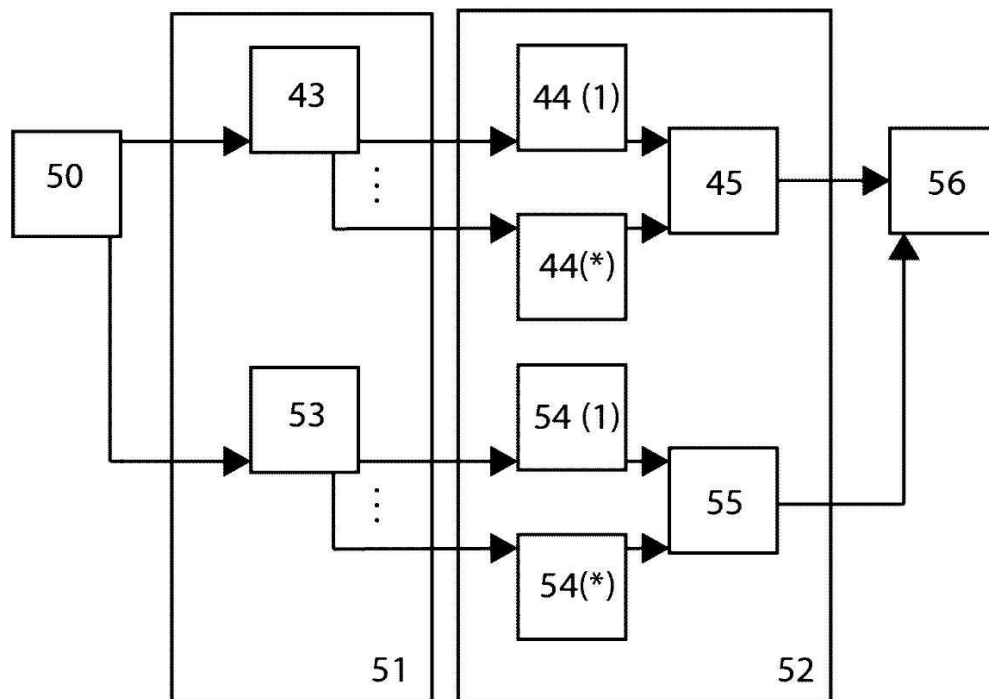
[0534] DO, MINH N., DAVY MARCHAND-MAILLET AND MARTIN VETTERLI. "On the Bandwidth of the Plenoptic Function"

IEEE Transactions on Image Processing. pp. 1-9.

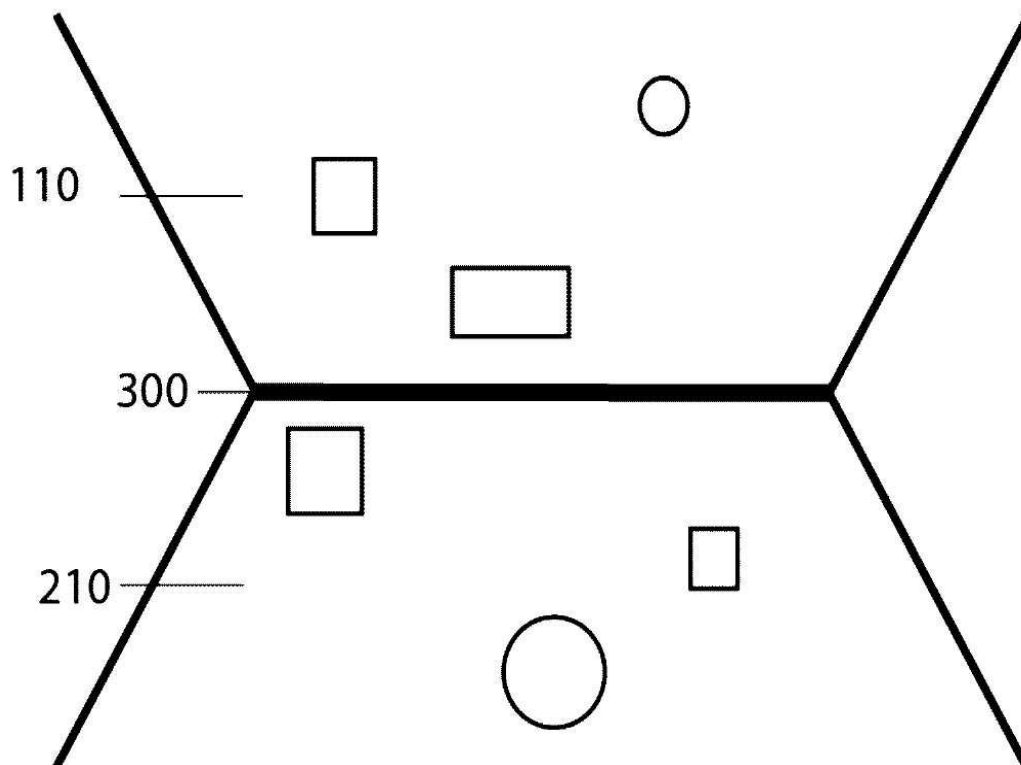
- [0535] DODGSON, N.A. Analysis of the viewing zone of the Cambridge autostereoscopic display. Applied optics, 35(10):1705-10, 1996.
- [0536] DODGSON, N.A. Analysis of the viewing zone of multiview autostereoscopic displays. Electronic Imaging 2002. International Society for Optics and Photonics, pages pp 254-265, 2002.
- [0537] GORTLER, STEVEN J., RADEK GRZESZCZUK, RICHARD SZELISKI, AND MICHAEL F. COHEN. "The Lumigraph" 43-52.
- [0538] GRAZIOSI, D.B., APLASLAN, Z.Y., EL-GHOROURY, H.S., Compression for Full-Parallax Light Field Displays. Proc. SPIE 9011, Stereoscopic Displays and Applications XXV, (MARCH), 90111A. 2014.
- [0539] GRAZIOSI, D.B., APLASLAN, Z.Y., EL-GHOROURY, H.S., Depth Assisted Compression of Full Parallax Light Fields. Proc. SPIE 9391, Stereoscopic Displays and Applications XXVI, (FEBRUARY), 93910Y. 2015.
- [0540] HALLE, MICHAEL W. AND ADAM B. KROPP. "Fast Computer Graphics Rendering for Full Parallax Spatial Displays". Proc. SPIE 3011, Practical Holography XI and Holographic Materials III, (10 April 1997).
- [0541] HALLE, MICHAEL W. Multiple Viewpoint Rendering. In Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '98). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 243-254.
- [0542] JANTET, VINCENT. "Layered Depth Images for Multi-View Coding" Multimedia. pp. 1-135. Universite Rennes 1, 2012. English.
- [0543] LANMAN, D., WETZSTEIN, G., HIRSCH, M., AND RASKAR, R., Depth of Field Analysis for Multilayer Automultiscopic Displays. Journal of Physics: Conference Series, 415(1):012036, 2013.
- [0544] LEVOY, MARC, AND PAT HANRAHAN. "Light Field Rendering" SIGGRAPH. pp. 1-12.
- [0545] MAARS, A., WATSON, B., HEALEY, C.G., Real-Time View Independent Rasterization for Multi-View Rendering. Eurographic Proceedings, The Eurographics Association. 2017.
- [0546] MARSCHNER, STEPHEN R. AND RICHARD J. LOBB. "An Evaluation of Reconstruction Filters for Volume Rendering" IEEE Visualization Conference 1994.
- [0547] MARTIN, S. "View Synthesis in Light Field Volume Rendering using Convolutional Neural Networks". University of Dublin. August 2018.
- [0548] MASIA, B., WETZSTEIN, G., ALIAGA, C., RASKAR, R., GUTIERREZ, D., Display adaptive 3D content remapping. Computers and Graphics (Pergamon), 37(8):983-996, 2013.
- [0549] MATSUBARA, R., ALPASLAN, ZAHIR Y., EL-GHOROURY, HUSSEIN S., Light Field Display Simulation for Light Field Quality Assessment. Stereoscopic Displays and Applications XXVI, 7(9391):93910G, 2015.
- [0550] PIAO, YAN, AND XIAOYUAN YAN. "Sub-sampling Elemental Images for Integral Imaging Compression" IEEE. pp. 1164-1168. 2010.
- [0551] VETRO, ANTHONY, THOMAS WIEGAND, AND GARY J. SULLIVAN. "Overview of the Stereo and Multiview Video Coding Extensions of the H.264/MPEG-4 AVC Standard." Proceedings of the IEEE. pp. 626-642. April 2011. Vol. 99, No. 4.
- [0552] WETZSTEIN, G., HIRSCH, M., Tensor Displays: Compressive Light Field Synthesis using Multilayer Displays with Directional Backlighting. 1920.
- [0553] WIDMER, S., D. PAJAK, A. SCHULZ, K. PULLI, J. KAUTZ, M. GOESELE, AND D. LUEBKE. An Adaptive Acceleration Structure for Screen-space Ray Tracing. Proceedings of the 7th Conference on High-Performance Graphics, HPG'15, 2015.
- [0554] ZWICKER, M., W. MATUSIK, F. DURAND, H. PFISTER. "Antialiasing for Automultiscopic 3D Displays" Eurographics Symposium on Rendering. 2006.

도면

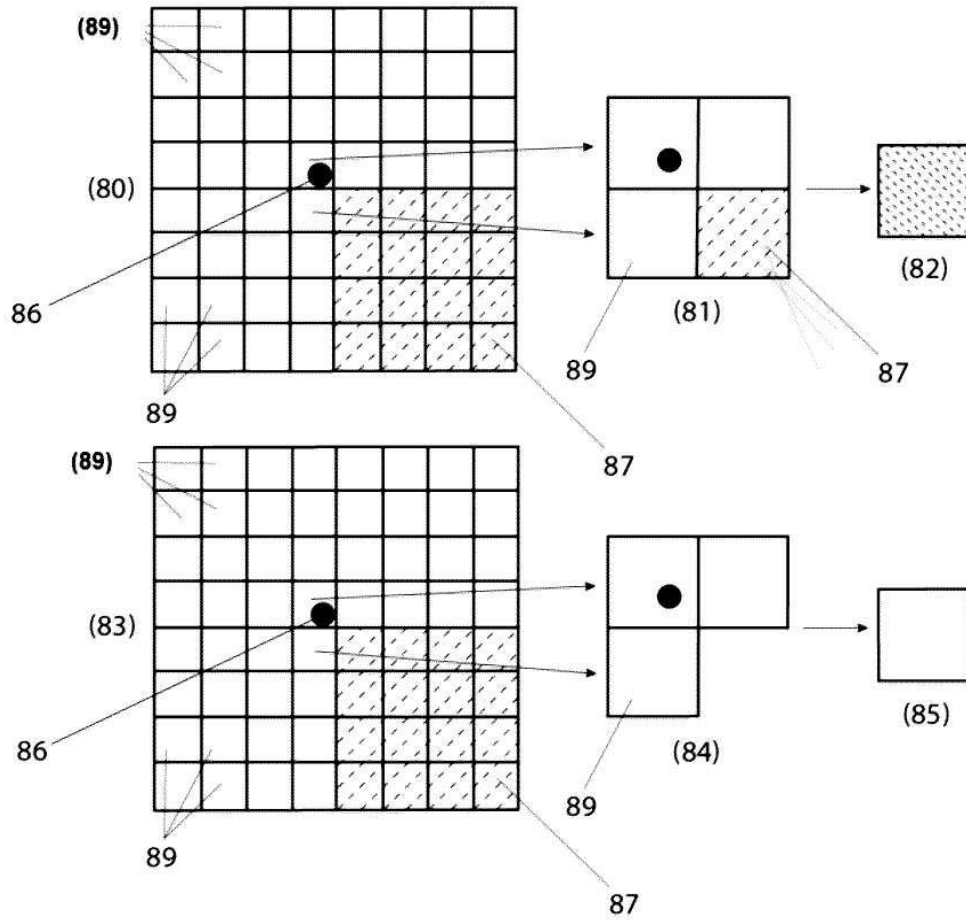
도면1



도면2



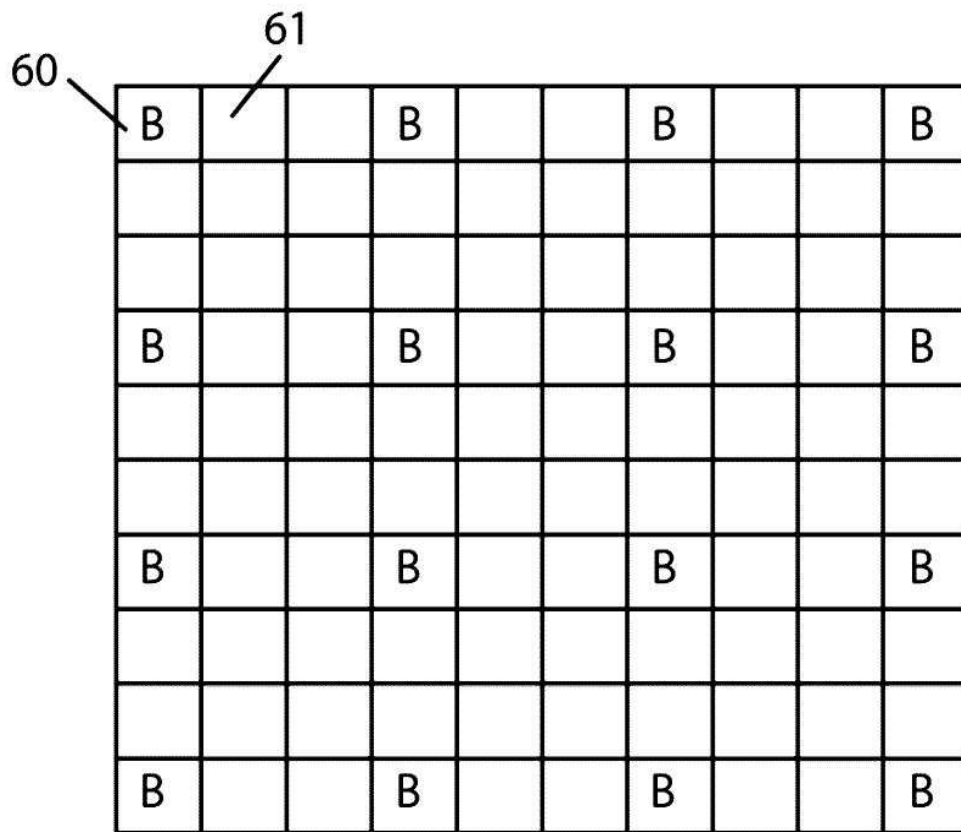
도면3a



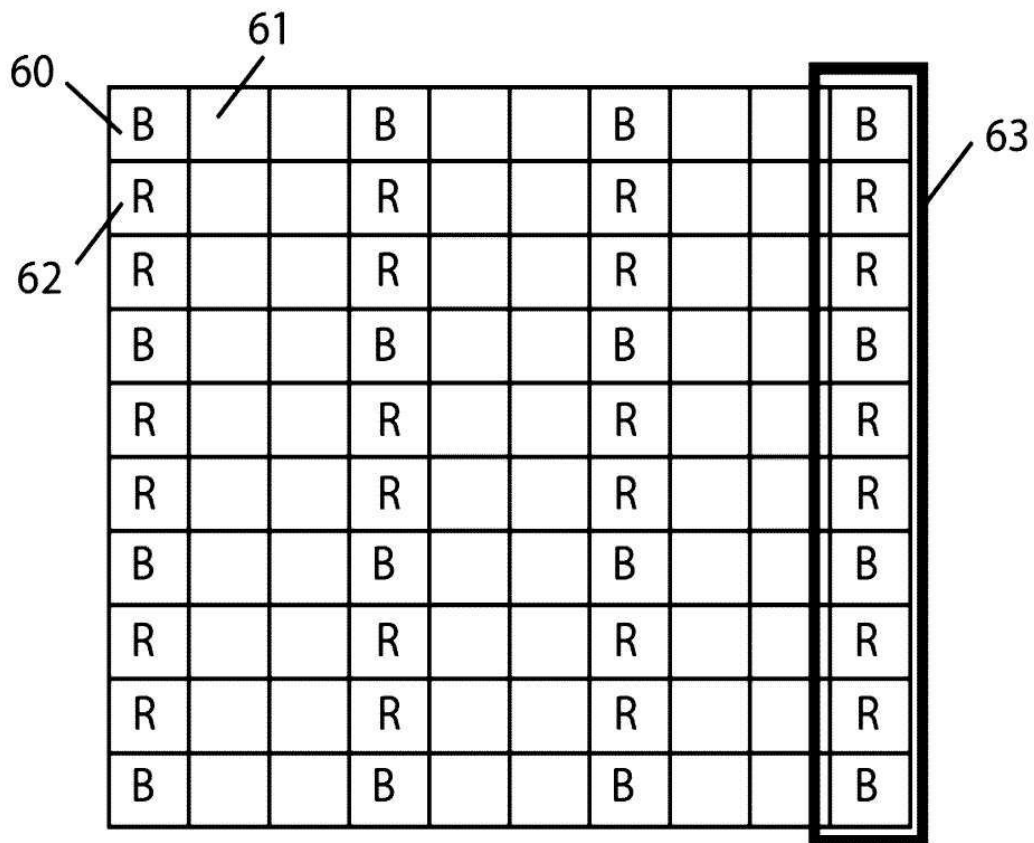
도면3b



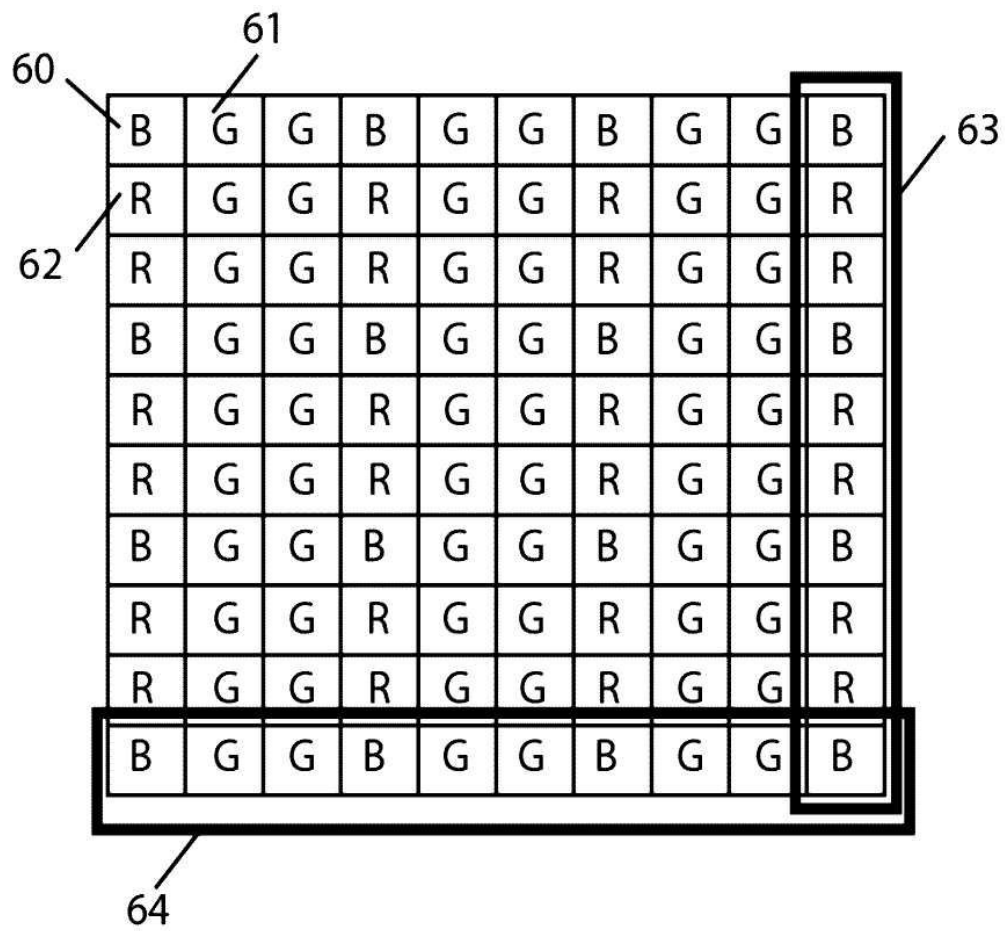
도면4



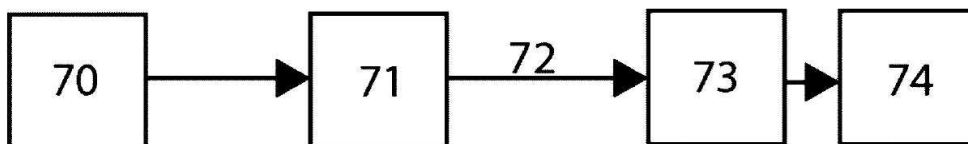
도면5



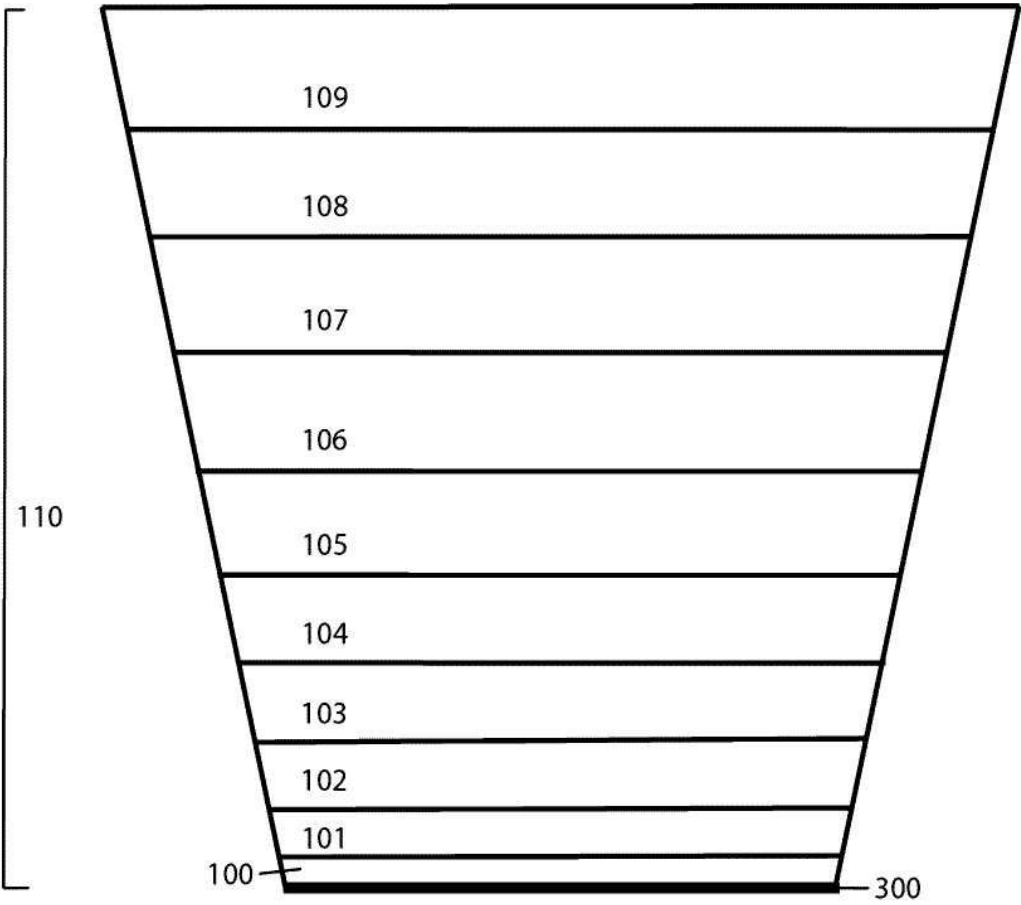
도면6



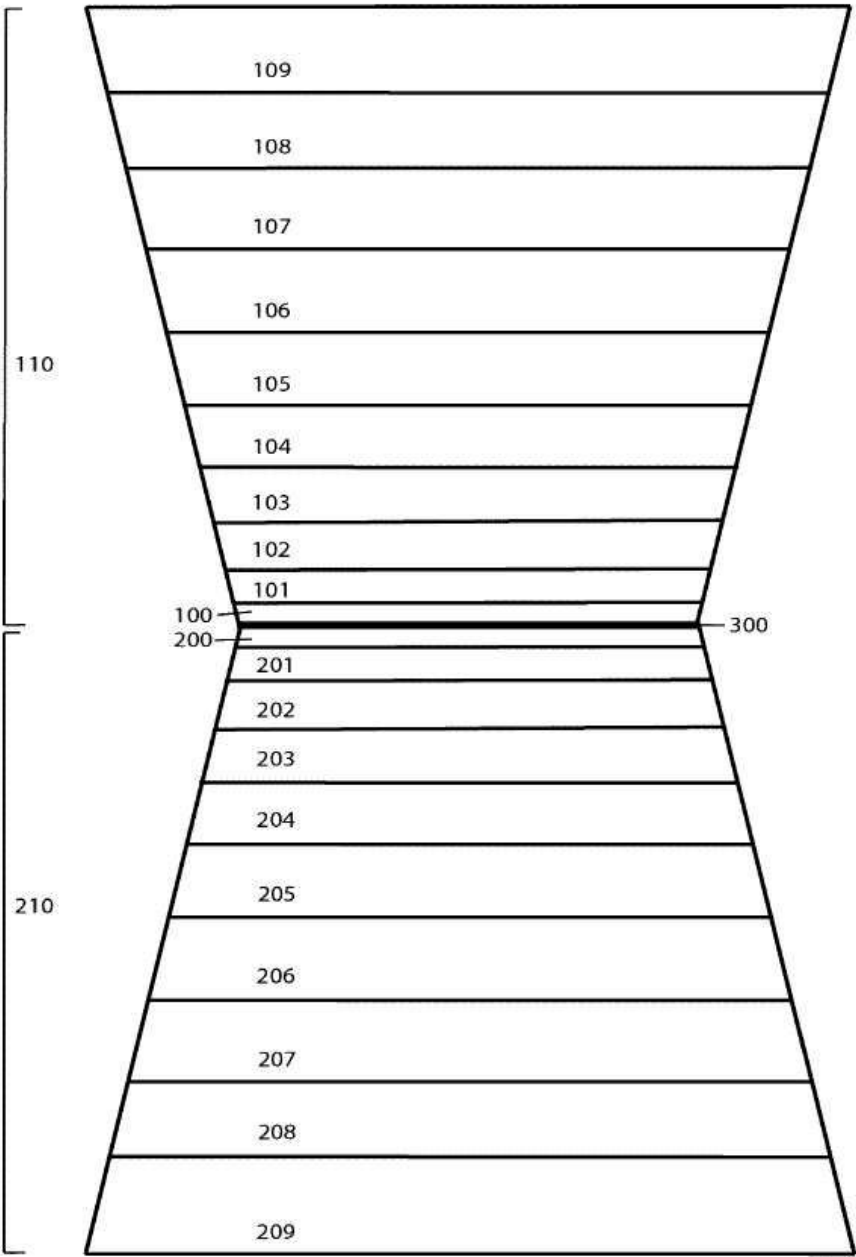
도면7



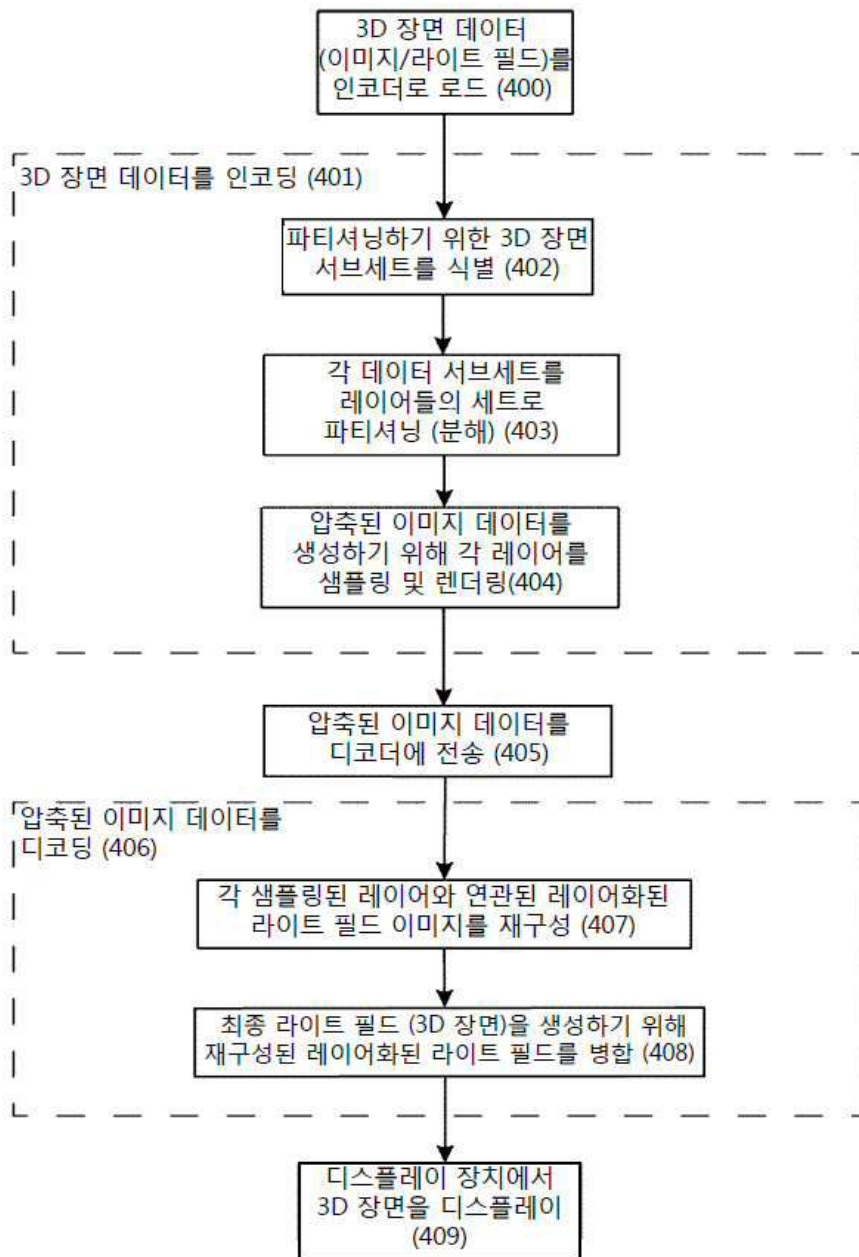
도면8



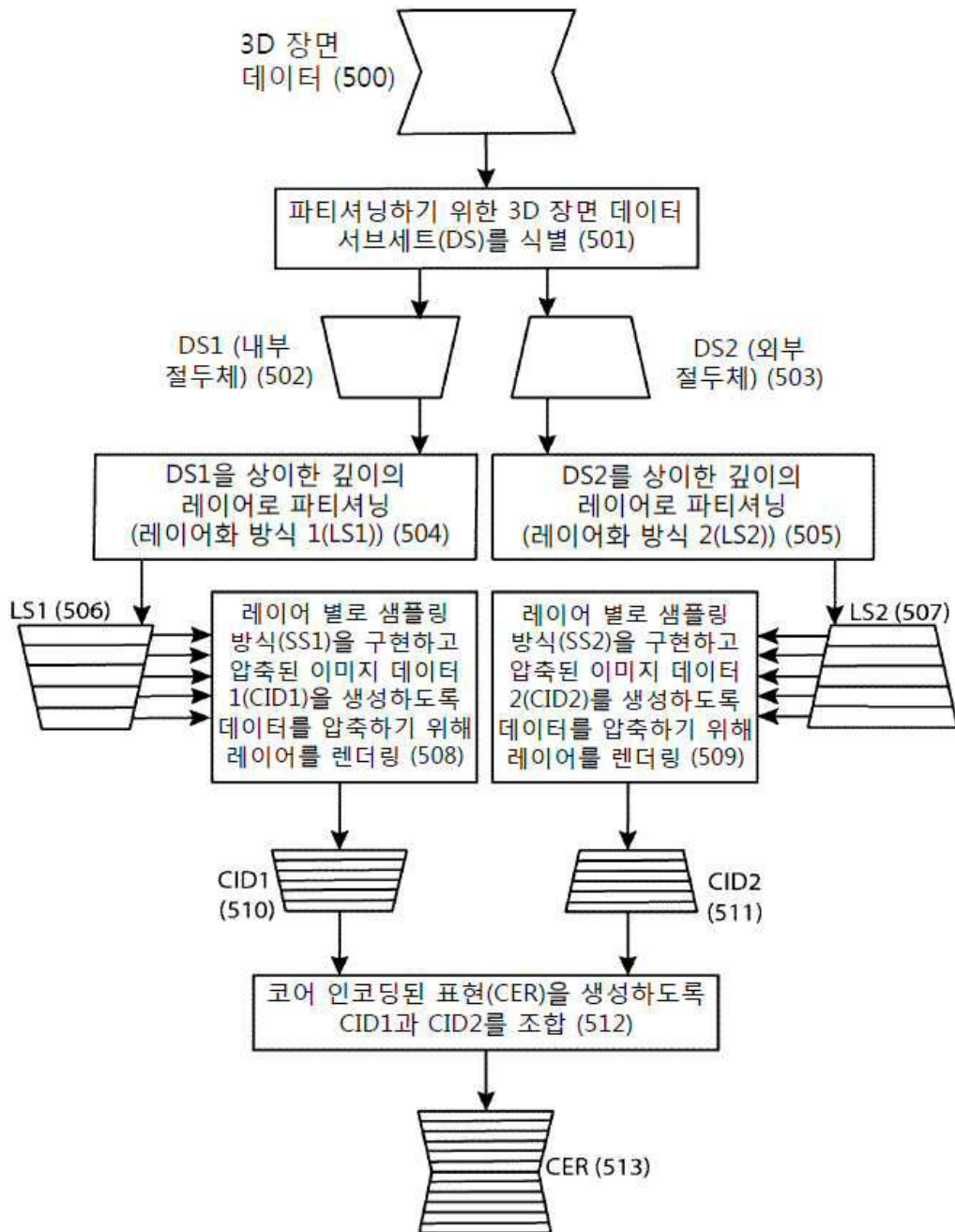
도면9



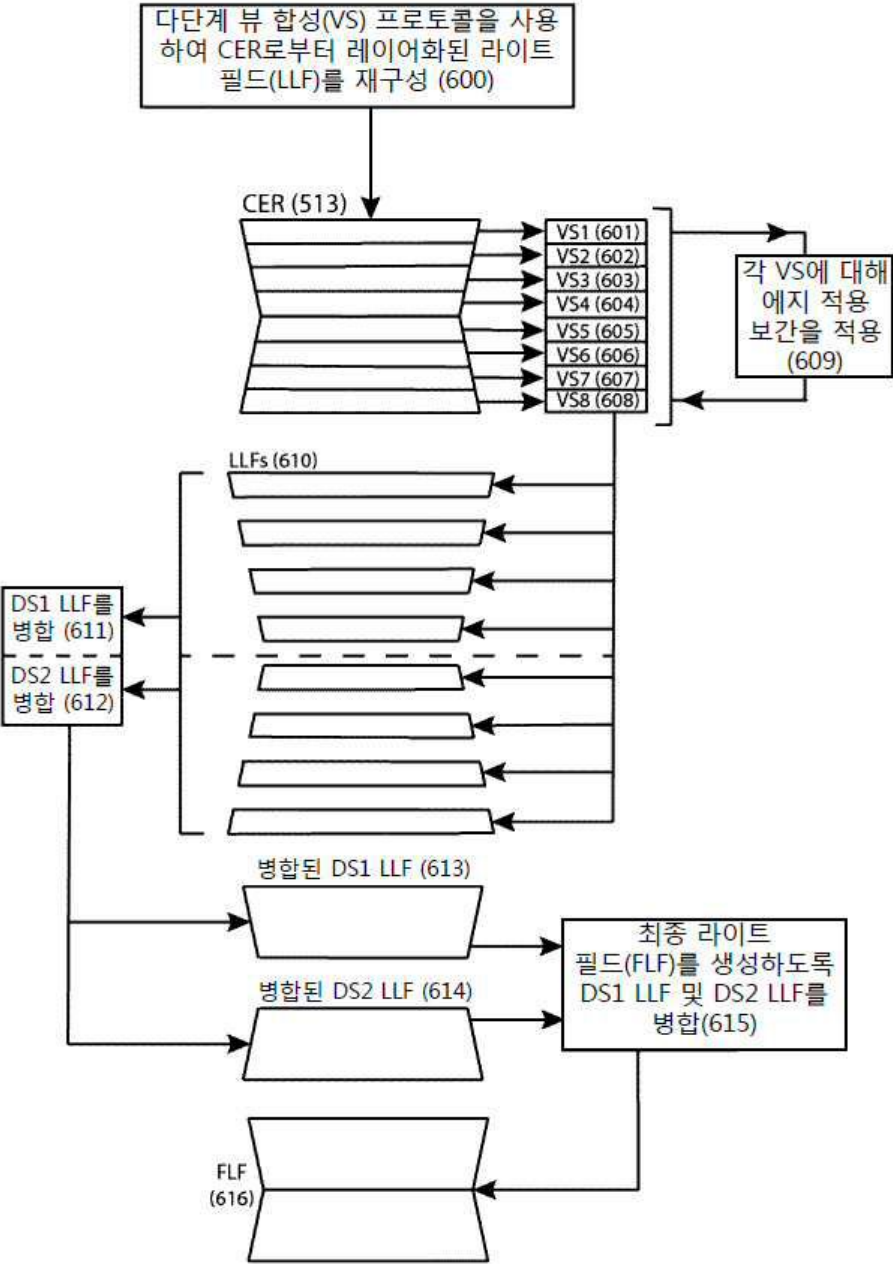
도면10



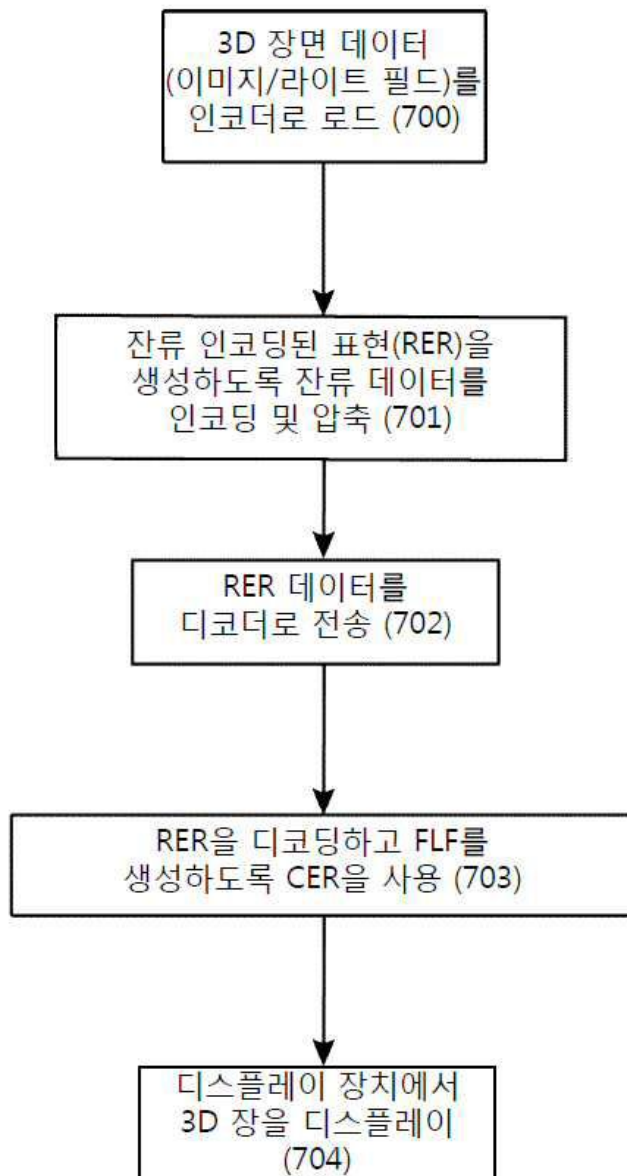
도면11



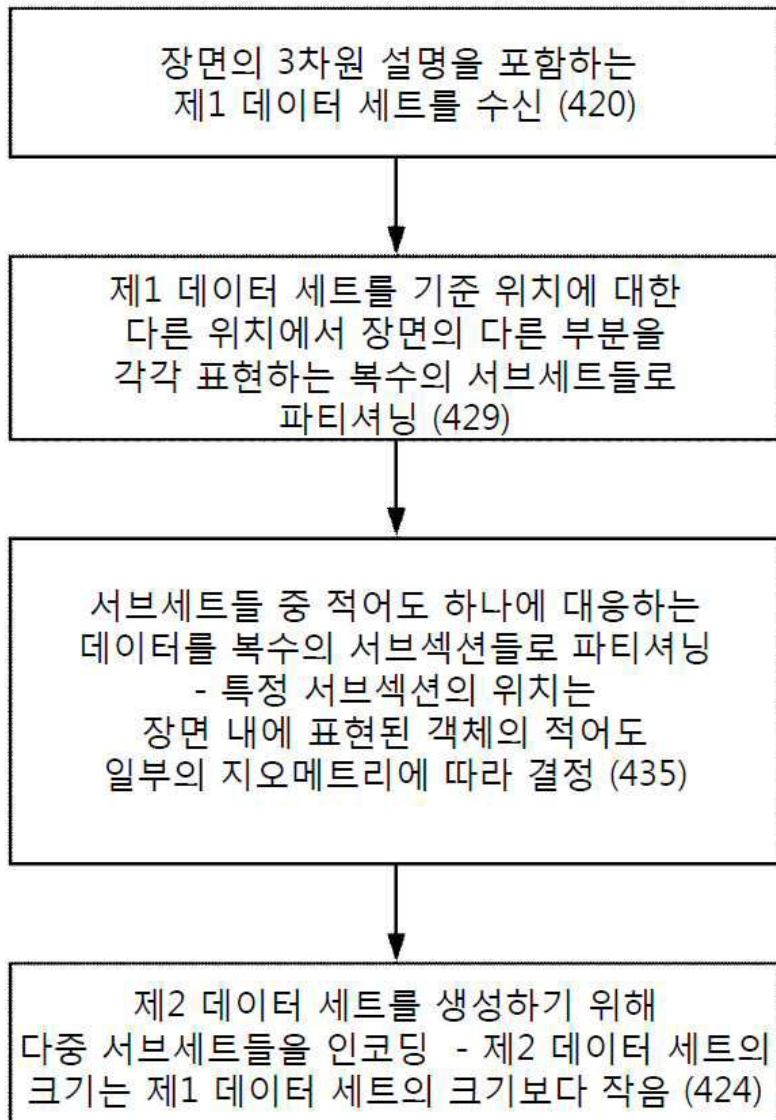
도면12



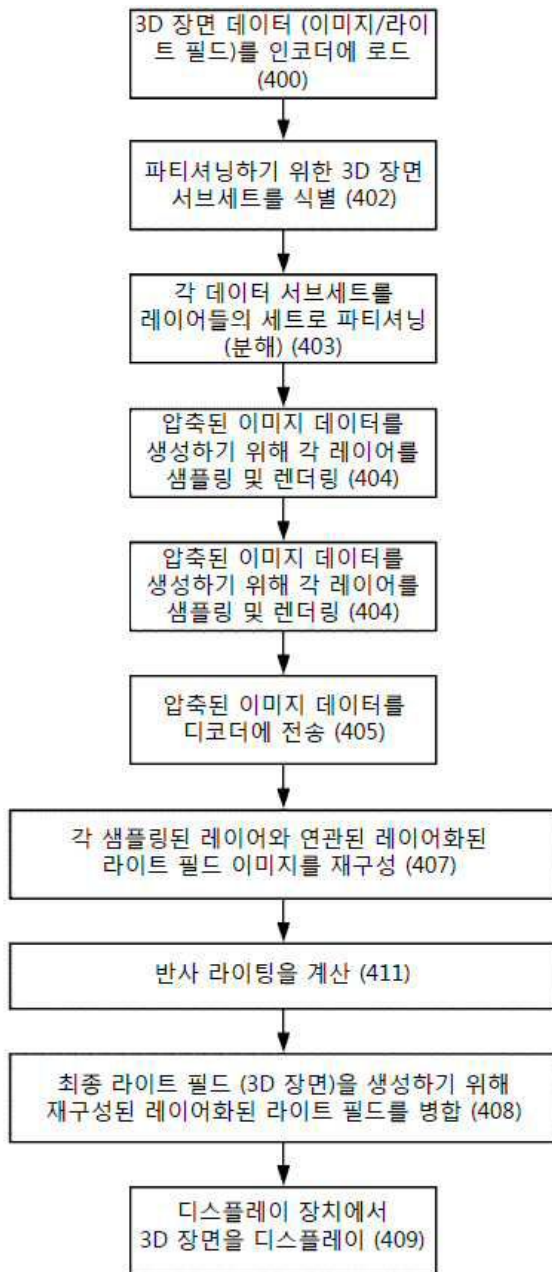
도면13



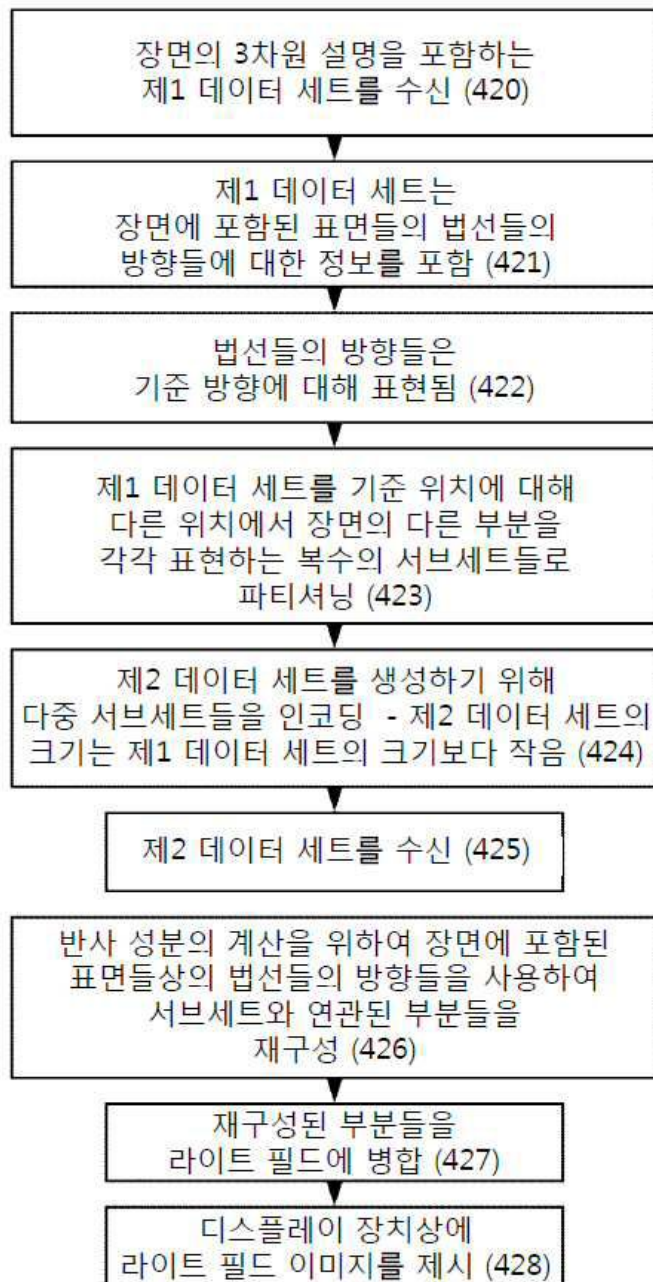
도면14



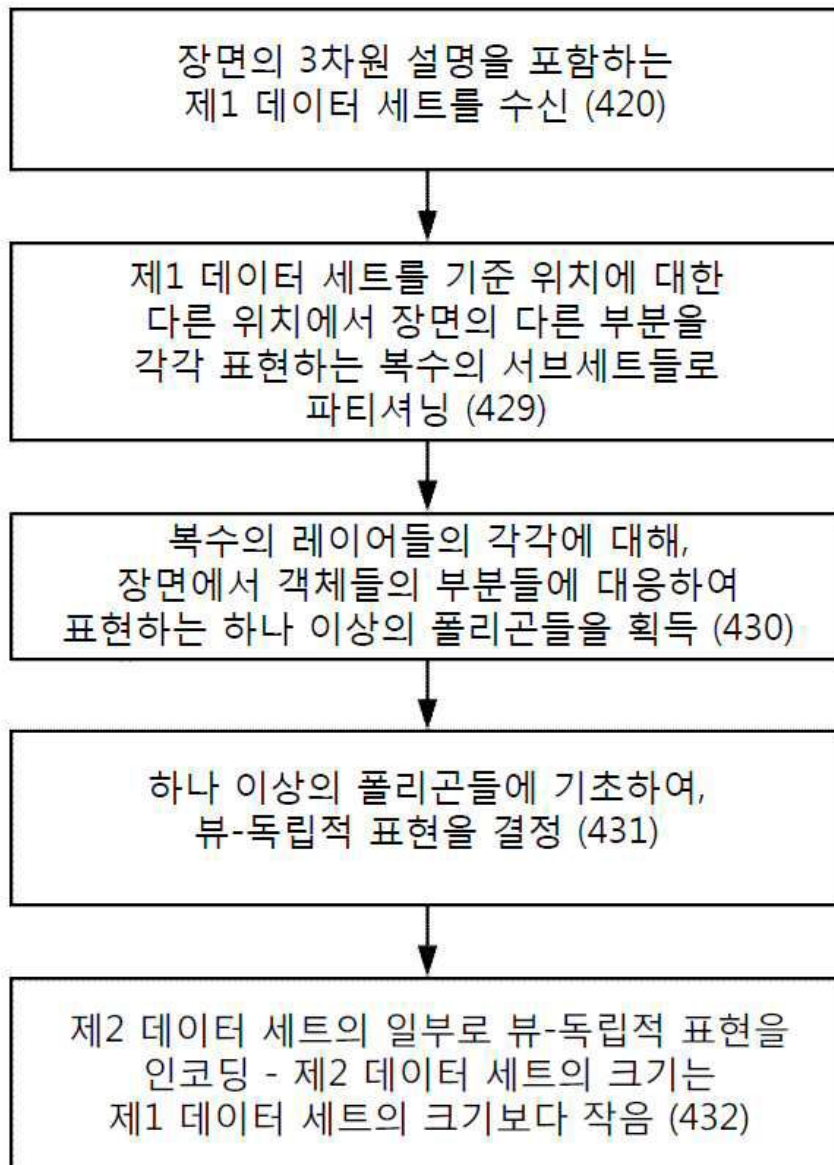
도면15



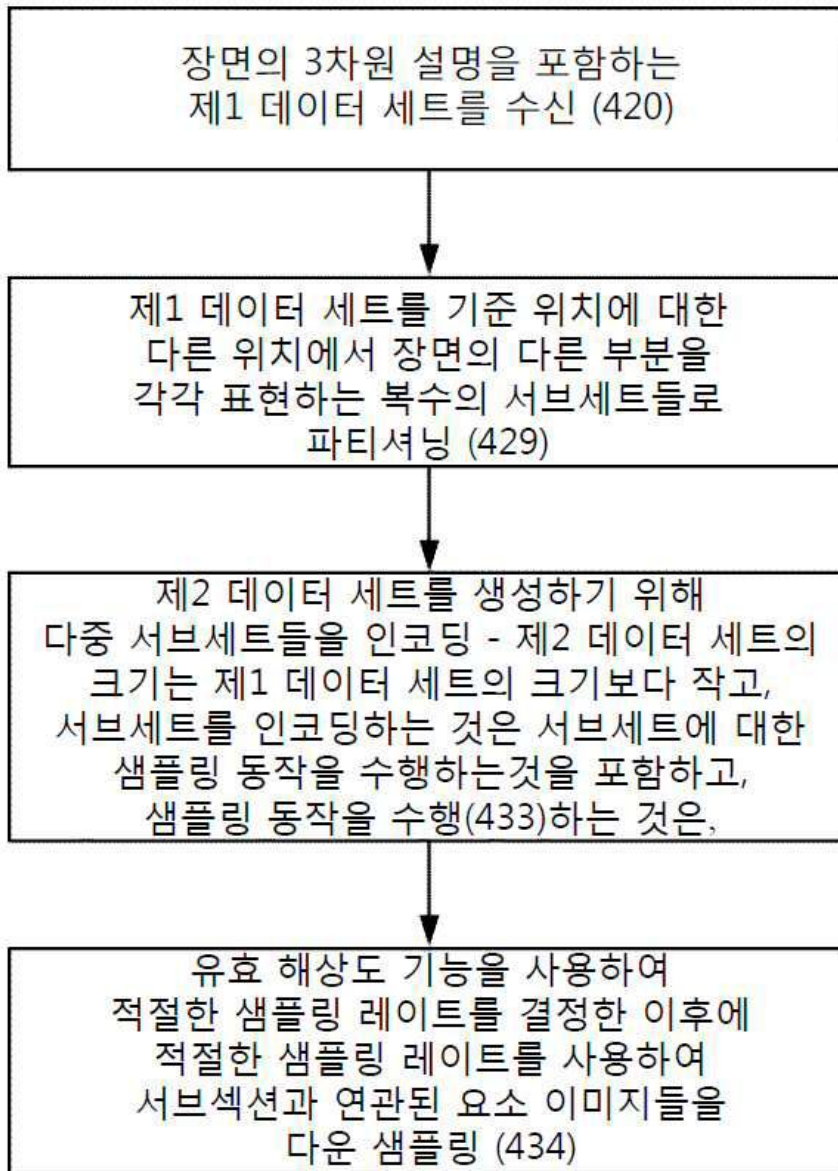
도면16



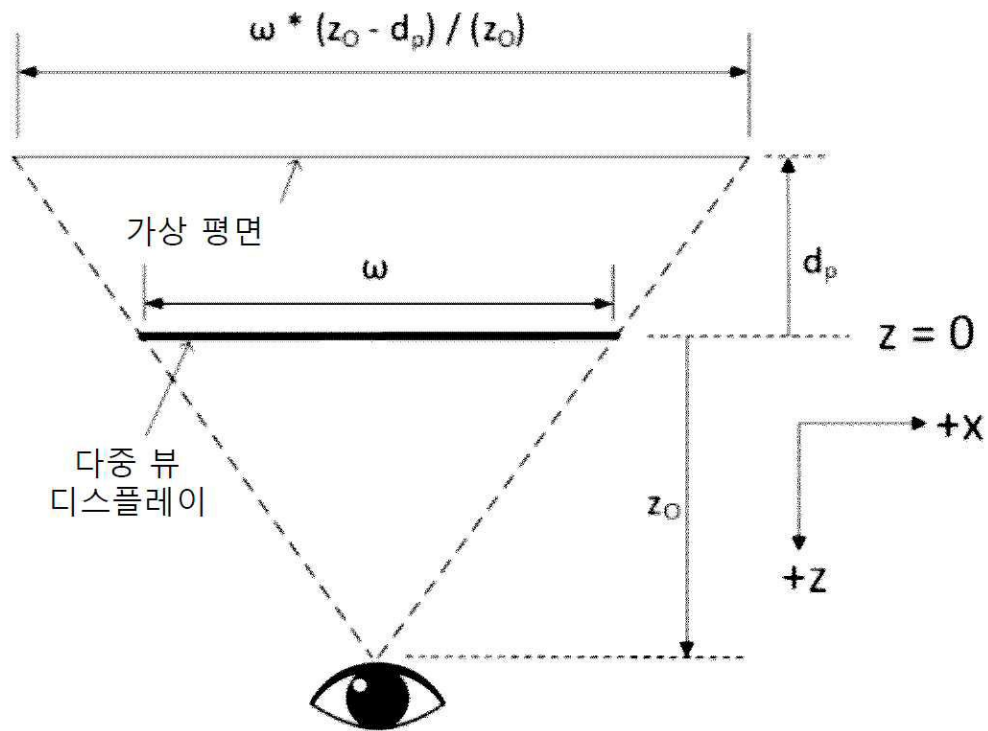
도면17



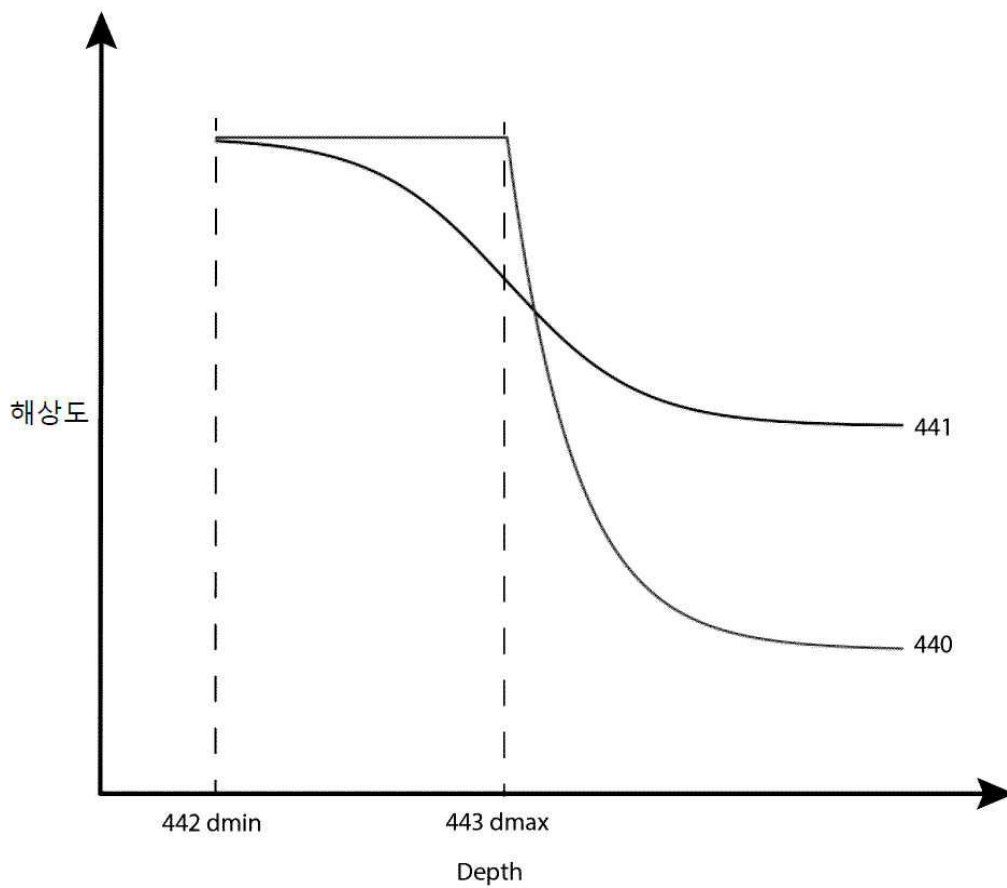
도면18



도면19



도면20



도면21

