



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0086739  
(43) 공개일자 2012년08월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G06T 15/06 (2011.01)  
(21) 출원번호 10-2012-7016524  
(22) 출원일자(국제) 2010년11월18일  
심사청구일자 없음  
(85) 번역문제출일자 2012년06월25일  
(86) 국제출원번호 PCT/EP2010/067727  
(87) 국제공개번호 WO 2011/064132  
국제공개일자 2011년06월03일  
(30) 우선권주장  
0958288 2009년11월24일 프랑스(FR)

(71) 출원인  
톰슨 라이센싱  
프랑스 92130 이씨레폴리노 잔 다르크 뒤편 1-5  
(72) 발명자  
고트롱, 빠스칼  
프랑스 35510 세송 세비네 아브뉴 드 벨르 폰텐느  
1 페르니콜로르 에르 에 데 프랑스  
마르비, 장-오드  
프랑스 35510 세송 세비네 아브뉴 드 벨르 폰텐느  
1 페르니콜로르 에르 에 데 프랑스  
들라렁드르, 씨릴  
프랑스 35510 세송 세비네 아브뉴 드 벨르 폰텐느  
1 페르니콜로르 에르 에 데 프랑스  
(74) 대리인  
백만기, 양영준, 전경석

전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 광 산란을 추정하는 방법

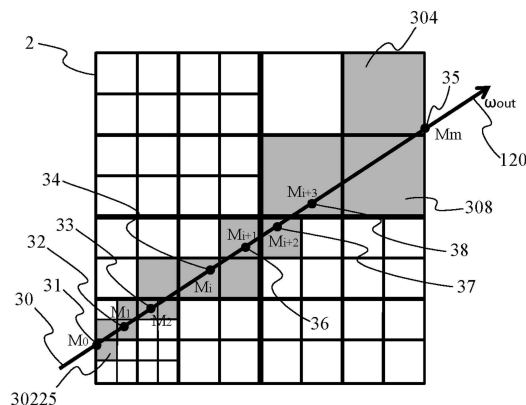
(57) 요약

본 발명은 불균질 반투과 매질(2)에 의해 산란된 광의 양을 추정하는 방법과 관련이 있다. 필요한 계산 시간을 최소화하면서 디스플레이를 최적화하기 위하여, 이 방법은,

- 복수의 계층 공간 세분 레벨들 중에서, 2개의 연속적인 계층 레벨 사이에 적어도 하나의 방향(120)에 따라 상기 매질에서의 감쇠 차이를 나타내는 적어도 하나의 오차 정보 항목에 따라 상기 매질(2)의 적어도 하나의 공간 세분 레벨을 선택하는 단계,

- 적어도 하나의 산란 방향(120)을 따라 상기 매질(2)의 샘플링에 의해 산란된 광의 양을 추정하는 단계 - 상기 샘플링은 적어도 하나의 선택된 공간 세분 레벨의 함수임 - 를 포함한다.

대표도 - 도4b



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

불균질 반투과 매질(heterogeneous participating media)(10)에 의해 산란된 광의 양을 추정하는 방법으로서, 복수의 계층 공간 세분 레벨들(21, 22, 23, 24) 중에서, 2개의 연속적인 계층 레벨 사이에 적어도 하나의 방향(110, 120)에 따라 상기 매질에서의 광의 감쇠 차이를 나타내는 적어도 하나의 오차 정보 항목에 따라 상기 매질(10)의 적어도 하나의 공간 세분 레벨을 선택하는 단계(71), 적어도 하나의 산란 방향(120)을 따라 상기 매질(10)의 샘플링에 의해 산란된 광의 양을 추정하는 단계(72) - 상기 샘플링은 상기 적어도 하나의 선택된 공간 세분 레벨의 함수임 - 를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 방법은 상기 적어도 하나의 산란 방향을 따라 위치하는 상기 매질의 적어도 하나의 점에 의해 산란된 상기 광의 감쇠를 나타내는 적어도 하나의 제1 값을 추정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 3

제2항에 있어서, 상기 방법은 상기 적어도 하나의 산란 방향을 따라 위치하는 상기 적어도 하나의 점에서의 상기 광의 적어도 하나의 방사 방향에 따라 적어도 하나의 광원으로부터 수신된 상기 광의 감쇠를 나타내는 적어도 하나의 제2 값을 추정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 4

제2항에 있어서, 상기 적어도 하나의 오차 정보 항목은 2개의 제1 값들의 비교에 의해 결정되고, 상기 2개의 제1 값들은 상기 매질의 2개의 연속적인 계층 공간 세분 레벨에 대하여 각각 추정되는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 5

제3항에 있어서, 상기 적어도 하나의 오차 정보 항목은 2개의 제2 값들의 비교에 의해 결정되고, 상기 2개의 제2 값들은 상기 매질의 2개의 연속적인 계층 공간 세분 레벨에 대하여 각각 추정되는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 방법은 상기 오차 정보와 임계값을 비교하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 7

제6항에 있어서, 선택된 상기 공간 세분 레벨은, 상기 적어도 하나의 오차 정보 항목이 상기 임계값보다 작다면 최상위 계층 위치 레벨에 대응하는 것을 특징으로 하는 방법.

## 명세서

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 합성 이미지 구성의 분야에 관한 것으로 더 구체적으로는 불균질 반투과 매질(heterogeneous participating media)에서의 광 산란 시뮬레이션의 분야에 관한 것이다. 본 발명은 또한 라이브 구성을 위한 특수 효과의 상황에서 이해된다.

### 배경 기술

- [0002] 종래 기술에 따르면, 예를 들어 안개, 연기, 먼지 또는 구름 등의 반투과 매질에서의 광의 산란을 시뮬레이션하기 위한 여러 가지 방법들이 존재한다. 반투과 매질은 광과 상호 작용하여 특히 궤도 및 강도를 변경하는 부유 상태의 입자들로 구성된 매질에 대응한다.
- [0003] 반투과 매질은 2개의 그룹, 즉 물과 같은 균질 매질과 연기 또는 구름과 같은 불균질 매질로 분류될 수 있다. 균질 반투과 매질의 경우에는, 광원에 의해 전송된 광의 감쇠를 분석적으로 계산하는 것이 가능하다. 사실, 그것들의 균질 성질로 인해, 이들 매질은 그 매질의 어느 점에서나 일정한 광 흡수 계수 또는 광 산란 계수 등의 파라미터들을 갖는다. 반대로, 불균질 반투과 매질에서는 광 흡수 및 산란 특성이 점마다 변화할 수 있다. 그러한 불균질 매질에서의 광의 산란을 시뮬레이션하기 위해 요구되는 계산은 매우 비용이 많이 들고 따라서 불균질 반투과 매질에 의해 산란된 광의 양을 분석적으로 그리고 라이브로 계산하는 것은 불가능하다. 또한, 매질은 산란되지 않으므로 매질에 의해 산란된 광의 양도 광의 산란 방향, 즉 사람이 매질을 보는 방향에 따라서 변화할 수 있다. 산란된 광의 양을 추정하는 계산은 매질의 사실적인 디스플레이를 얻기 위해 사람에 의한 매질의 각 관찰 방향에 대해 반복되어야 한다.
- [0004] 불균질 반투과 매질의 라이브 디스플레이를 생성하기 위해, 일부 방법들은 불균질 반투과 매질을 나타내는 일부 파라미터들의 사전 계산을 수행한다. 이들 방법들은 예를 들어 스튜디오에서의 후반 작업(post-production)에서 사용하기에 더할 나위 없이 적당하고 양호한 품질의 디스플레이를 제공하지만, 이들 방법들은 불균질 반투과 매질의 라이브 인터랙티브 개념 및 구성의 상황에서는 적당하지 않다. 숙련된 당업자들에게 잘 알려진 레이-마칭(ray-marching) 알고리즘(예를 들어 도버 퍼블리케이션즈(Dover Publications)에서 1960년에 발행된 S. Chandrasekhar의 "Radiative Transfer Equation"이라는 제목의 문서에서 설명됨) 등의 다른 방법들은 광의 산란 방향 및/또는 투과 방향에 따라 불균질 반투과 매질을 샘플링하여 매질의 다수의 점들에서 광의 감쇠를 추정하는 것에 있고, 그 점들의 수는 샘플링의 정확도에 의존한다. 그러한 샘플링은 특히 그것이 매우 미세한 경우 및/또는 샘플링된 매질이 복잡하고 및/또는 넓은 범위에 걸쳐 있는 경우에 계산상의 비용이 매우 많이 들 수 있다.
- [0005] 특히 3차원(3D)의, 대화형 시뮬레이션 게임 및 응용 프로그램들의 출현으로 인해, 불균질 반투과 매질의 사실적인 디스플레이를 제공하는 라이브 시뮬레이션 방법들에 대한 필요성이 느껴지고 있다.
- 발명의 내용**
- [0006] 본 발명의 목적은 종래 기술의 이들 불리점들 중 적어도 하나를 극복하는 것이다.
- [0007] 더 구체적으로는, 본 발명의 목적은 특히 불균질 반투과 매질에서의 광의 산란의 사실적인 디스플레이를 구성하는 데 필요한 계산 시간을 최적화하는 것이다.
- [0008] 본 발명은 불균질 반투과 매질에 의해 산란된 광의 양을 추정하는 방법과 관련이 있고, 이 방법은,
- [0009] - 복수의 계층 공간 세분 레벨들 중에서, 2개의 연속적인 계층 레벨 사이에 적어도 하나의 방향에 따라 상기 매질에서의 감쇠 차이를 나타내는 적어도 하나의 오차 정보 항목에 따라 상기 매질의 적어도 하나의 공간 세분 레벨을 선택하는 단계,
- [0010] - 적어도 하나의 산란 방향을 따라 상기 매질의 샘플링에 의해 산란된 광의 양을 추정하는 단계 - 상기 샘플링은 상기 적어도 하나의 선택된 공간 세분 레벨의 함수임 - 를 포함한다.
- [0011] 유리하게는, 상기 방법은 상기 적어도 하나의 산란 방향을 따라 위치하는 상기 매질의 적어도 하나의 점에 의해 산란된 상기 광의 감쇠를 나타내는 적어도 하나의 제1 값을 추정하는 단계를 포함한다.
- [0012] 특정한 특징에 따르면, 상기 방법은 상기 적어도 하나의 산란 방향을 따라 위치하는 상기 적어도 하나의 점에서의 상기 광의 적어도 하나의 방사 방향에 따라 적어도 하나의 광원으로부터 수신된 상기 광의 감쇠를 나타내는 적어도 하나의 제2 값을 추정하는 단계를 포함한다.
- [0013] 유리하게는, 상기 적어도 하나의 오차 정보 항목은 2개의 제1 값들의 비교에 의해 결정되고, 상기 2개의 제1 값들은 상기 매질의 2개의 연속적인 계층 공간 세분 레벨에 대하여 각각 추정된다.
- [0014] 다른 특징에 따르면, 상기 적어도 하나의 오차 정보 항목은 2개의 제2 값들의 비교에 의해 결정되고, 상기 2개의 제2 값들은 상기 매질의 2개의 연속적인 계층 공간 세분 레벨에 대하여 각각 추정된다.
- [0015] 특정한 특징에 따르면, 상기 방법은 오차 정보와 임계값을 비교하는 단계를 포함한다.

[0016] 유리하게는, 선택된 상기 공간 세분 레벨은 상기 적어도 하나의 오차 정보 항목이 상기 임계값보다 작다면 최상위 계층 위치 레벨에 대응한다.

### 도면의 간단한 설명

[0017] 첨부된 도면들을 참조하여 다음의 설명을 읽으면 본 발명은 더 잘 이해될 것이고, 다른 특정한 특징들 및 이점들이 드러날 것이다.

도 1은 본 발명의 특정한 실시예에 따른, 불균질 반투과 매질 산란 광을 개략적으로 나타낸다.

도 2a 및 2b는 본 발명의 특정한 실시예에 따른, 도 1의 매질의 공간 세분 트리의 2개의 표현들을 나타낸다.

도 3a, 3b, 4a 및 4b는 본 발명의 특정한 실시예에 따른, 광의 산란 방향에 따른 도 1의 매질의 몇 개의 공간 세분 레벨들을 나타낸다.

도 5는 본 발명의 특정한 실시예에 따른, 광의 방사 방향에 따른 도 1의 매질의 몇 개의 공간 세분 레벨들을 나타낸다.

도 6은 본 발명의 특정한 실시예에 따른, 도 1의 매질에 의해 산란된 광의 양의 추정을 위한 방법을 구현하는 장치를 나타낸다.

도 7은 본 발명의 특정한 실시예에 따른, 도 1의 매질에 의해 산란된 광의 양의 추정을 위한 방법을 나타낸다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 도 1은 불균질 반투과 매질(10), 예를 들어 구름을 나타낸다. 반투과 매질은 광을 흡수하고, 방사하고 및/또는 확산시키는, 부유 상태의 다수의 입자들로 구성된 매질이다. 그것의 가장 간단한 형태에서, 반투과 매질은 광, 예를 들어 태양과 같은 광원(11)으로부터 수신된 광을 흡수만 한다. 이것은 매질(10)을 가로질러 지나가는 광이 감쇠된다는 것을 의미하고, 그 감쇠는 매질의 밀도에 의존한다. 매질이 불균질인 것은, 즉 예를 들어 매질을 구성하는 입자들의 밀도와 같은 매질의 물리적 특성이 매질 내의 점마다 변화한다는 것이다. 반투과 매질은 광과 상호 작용하는 작은 입자들로 구성되므로, 즉 하나의 방향  $\omega_{in}(110)$ 에 따라 광원(11)으로부터 수신된 입사 광은 흡수될 뿐만 아니라 산란되기도 한다. 등방성 산란 반투과 매질에서는, 광은 모든 방향으로 균등하게 산란된다. 도 1에 도시된 구름(10)과 같은 이방성 산란 반투과 매질에서는, 광 산란은 광의 입사 방향  $\omega_{in}(110)$ 과 산란 방향  $\omega_{out}(120)$  사이의 각도에 의존한다. 매질(10)의 점 M(13)에서 산란 방향  $\omega_{out}(120)$ 으로 산란된 광의 양은 다음의 수학적식으로 계산된다:

### 수학적식 1

$$[0019] \quad Q(M, \omega_{out}) = D(M) \cdot \sigma_s \cdot p(M, \omega_{out}, \omega_{in}) \cdot L_{ri}(M, \omega_{in})$$

[0020] 방향  $\omega_{out}(120)$ 으로 공간의 점 C에 위치하는 관찰자(12)의 눈에 도달하는 매질의 점 M(13)에 의해 산란된 광의 양, 즉 점 M에 의해 산란된 광의 양은 궤도 M-P 상의 매질(10)에 의해 감쇠되고(점 P는 관찰자(12)의 방향으로 매질(10)과 방향  $\omega_{out}$ 의 교차점에 위치함), 다음 수학적식과 같다:

### 수학적식 2

$$[0021] \quad L_P(M, \omega_{out}) = Q(M, \omega_{out}) \cdot \exp \int_P^M -D(s) \cdot \sigma_t \cdot ds$$

[0022] 여기서,

[0023] •  $\sigma_s$ 는 매질의 산란 계수이고,

[0024] •  $\sigma_a$ 는 매질의 흡수 계수이고,

[0025] •  $\sigma_t = \sigma_s + \sigma_a$ 는 매질의 흡광 계수(extinction coefficient)이고,

[0026] •  $D(M)$ 은 주어진 점에서의 매질의 밀도로서, 그 밀도는 매질(10)이 불균질일 때 점마다 변화하고,

[0027] •  $p(M, \omega_{out}, \omega_{in})$ 은 입사 방향  $\omega_{in}$ 으로부터 오는 광이 점 M에서 산란 방향  $\omega_{out}$ 으로 어떻게 산란되는지를 기술하는 위상 함수이고,

[0028] •  $L_{ri}(M, \omega_{in})$ 은 입사 방향  $\omega_{in}$ (110)으로부터 오는 점 M에서의 감소된 광 강도이고 선분 K-M 상의 매질(10)에서의 광의 궤도로 인한 감쇠 후에 점 M에 도달하는 입사 광의 양을 나타내고(K는 매질(10)과 입사 광선  $\omega_{in}$ (110) 사이의 교차점임), 그 값은 다음 수학적식과 같다:

### 수학적식 3

[0029] 
$$\exp \int_M^K -D(s)\sigma_t ds$$

[0030] •  $\exp \int_P^M -D(s)\sigma_t ds$ 는 P(15)로부터 M(13)까지의 경로를 따라 흡수 및 산란으로 인한 산란 광의 감쇠를 나타낸다.

[0031] 수학적식 2는 점 M에 의해 산란되어 방향  $\omega_{out}$ 에 위치하는 관찰자(12)의 눈에 도달하는 광의 양이 계산될 수 있게 한다. 방향  $\omega_{out}$ 으로 바라보는 관찰자에 의해 수신된 광의 양을 계산하기 위해, 축  $\omega_{out}$ 에 위치하는 매질의 점들의 집합, 즉, 선분 P- $M_{max}$  상에 위치하는 점들의 모든 기여들의 합계가 계산되어야 한다(P와  $M_{max}$ 는 매질(10)과 방향  $\omega_{out}$ (120) 사이의 2개의 교차점들임). 간단한 산란으로 인해 방향  $\omega_{out}$ (120)으로부터 P(15)에 도달하는 이 총 산란 광은 다음 수학적식과 같다:

### 수학적식 4

[0032] 
$$L(P, \omega_{out}) = \int_P^{Mmax} L_P(M, \omega_{out}) dM$$

[0033] 여기서 궤도 C-P를 커버하는 광은 감쇠되지 않고, 광은 매질(10) 밖에서는 감쇠되지 않는다고 생각된다.

[0034] 이 총 산란 광은 방향으로  $\omega_{out}$ 을 갖는 광선 상의 P와  $M_{max}$  사이에 위치하는 모든 점들로부터의 기여들의 적분에 의해 얻어진다. 그러한 적분 수학적식은 일반적으로 분석적으로 해결될 수 없고 하물며 산란 광의 양의 라이브 추정에 대해서는 그럴 수 없다. 적분은 레이-마칭이라고 알려진 방법을 사용하여 디지털 방식으로 값이 구해진다. 이러한 방법으로, 적분 영역은 사이즈  $\delta_M$ 의 다수의 구간으로 이산화(discretize)되고, 그에 대한 밀도는 구간마다 변화하고, 다음의 수학적식이 얻어진다:

### 수학적식 5

[0035] 
$$L(P, \omega_{out}) \approx \sum_P^{Mmax} L_P(M, \omega_{out}) \delta_M$$

[0036] 유사하게, 불균질 반투과 매질(10)에서의 광원(11)으로부터의 광의 감쇠는 유리하게는 레이-마칭 방법의 적용에 의해 계산된다. 따라서, 감쇠 후에 점 M에 도달하는 입사 광의 양을 나타내는 점 M(13)에서의 광 강도의 감쇠  $Att_L(M)$ 은 다음의 수학적식으로 표현된다:

## 수학식 6

[0037]

$$Att_L(M) \exp \sum_K^M -D(s)\sigma_s ds$$

[0038]

레이-마칭 방법에 따라 점 M에서의 광의 감쇠를 추정하기 위해, 매질(10)에서의 광선(110)의 입력 점 K(14)와 매질(10)의 고려되는 점 M(13) 사이에 고려되는 입사 방향(110)에 위치하는 적분 영역은 사이즈  $\delta_s$ 의 일련의 구간으로 이산화된다. 또한, 밀도도 입사 방향(광 방사 방향이라고도 함)을 따라 점마다(또는 바꾸어 말하면 구간  $\delta_s$ 마다) 변화한다. 따라서 다음의 수학식이 얻어진다:

## 수학식 7

[0039]

$$Att_L(M) \approx \prod_K^M \exp^{-D(s)\sigma_s \delta_s}$$

[0040]

유리하게는, 불균질 반투과 매질(10)은 3차원 요소이고, 명확함을 위해 도 1에서는 2차원으로 도시되어 있다.

[0041]

변형에 따르면, 매질(10)은 복수의 광원들, 예를 들어 1000개, 100,000개 또는 1,000,000개 광원들에 의해 비추어지고, 그 광원들은 광 환경을 형성한다. 몇 개의 원격 광원들로부터의 광의 추정은 숙련된 당업자들에게 알려진 환경 매핑 방법을 사용하여 수행된다. 환경 매핑 방법에 따르면, 광 환경의 모든 광원들은 매질(10)의 점들에 관하여 광학적 무한대에 위치한다고 간주된다. 따라서 매질의 고려되는 점들이 무엇이든지 취해진 방향들이 동일하다고 간주하는 것이 가능하다. 따라서 매질의 상이한 점들을 분리하는 거리로 인한 시차 효과는 무시해도 좋다. 이 변형에 따르면, 점 M에서의 입사 광의 감쇠를 추정하기 위해서는, 광 환경을 나타내는 입사 방향들의 세트에 대해 수학식 7을 통해 광의 감쇠를 계산할 필요가 있고, 이는 계산을 현저히 증가시킨다.

[0042]

다른 변형에 따르면, 매질의 산란 계수  $\sigma_s$  및/또는 매질의 흡수 계수  $\sigma_a$ 와 같은, 매질(10)의 물리적 특성 또한, 밀도가 그러한 것처럼, 매질(10) 내의 점마다 변할 수 있다. 추가 변형에 따르면, 둘 또는 양쪽 계수들  $\sigma_s$  및  $\sigma_a$  중 하나만이 매질 내에서 변하고, 밀도는 매질에서 균질이다.

[0043]

도 2a 및 2b는 본 발명의 특정한 실시예에 따른, 2개의 상이한 표현 모드들에 따른 매질(10)의 공간 세분 트리를 나타낸다.

[0044]

명확함과 간결함을 위해, 매질(10)은 도 2a의 정사각형 또는 직사각형과 같은 간단한 2차원 기하학적 형태(2)로 표현된다(도 2a 및 2b의 설명에서는 매질(2)이라 함). 매질(2)의 표면은 동일한 사이즈의 셀들로 계층적으로 세분되어 "쿼드트리(quadtrees)" 유형의 구조를 형성한다. 동일한 셀에 속하는 매질(2)의 점들은 동일한 물리적 특성을 갖는데, 예를 들어, 매질의 밀도는 동일한 셀의 매질(2)의 각 점에서 동일하다. 물리적 특성은 유리하게는 셀마다 변한다. 변형에 따르면, 매질(2)의 일부 셀들의 물리적 특성은 동일한 물리적 특성을 갖고, 매질(2)은 전체적으로 여전히 불균질인데, 즉, 적어도 2개의 셀은 상이한 물리적 특성을 가진다. 최상위 계층 레벨은 매질(2)의 제1 공간 세분 레벨(21)을 형성하는 단일 셀 [1]에 의해 표현되고, 이 고유의 셀은 매질(2)과 동일한 표면을 갖는다. 제1 레벨 바로 아래의 계층 레벨(매질(2)의 제2 공간 세분 레벨(22)이라 함)은 셀 [1]의 사이즈의 4분의 1에 대응하는 동일한 사이즈의 4개의 셀들 [2], [3], [4], 및 [5]에 의해 표현된다. 하위 계층 레벨이면서 제2 레벨(22)에 후속하는, 매질(2)의 제3 공간 세분 레벨(23)은 동일한 사이즈의 16개의 셀들, 예를 들어 셀들 [6] 내지 [17]에 의해 표현된다. 셀들 [6] 내지 [17] 각각의 사이즈는 셀들 [2] 내지 [5]의 사이즈의 4분의 1에 대응하고, 각 셀 [2] 내지 [5]는 각각 동일한 사이즈의 4개의 셀들로 분할되었다. 하위 계층 레벨이면서 제3 레벨(23)에 후속하는, 매질(2)의 제4 공간 세분 레벨(24)은 동일한 사이즈의 64개의 셀들, 예를 들어 셀들 [18] 내지 [25]에 의해 표현된다. 셀들 [18] 내지 [25] 각각의 사이즈는 셀들 [6] 내지 [17]의 사이즈의 4분의 1에 대응하고, 제3 레벨(23)의 각 셀 [6] 내지 [17]은 각각 동일한 사이즈의 4개의 셀들로 분할되었다. 이러한 구조를 일반화하면, 레벨 X보다 바로 작은 공간 표현의 레벨 Y를 형성하는 것은, 레벨 Y를 형성하는 셀들의 수를 얻기 위해 레벨 X의 셀들의 수에 4를 곱하는 것을 의미한다.

[0045]

이러한 레벨들의 계층 구조는 도 2b에 관해서 더 명확히 나타나는데, 여기서 계층 공간 세분 레벨들은 트리 구조의 형태로 나타나고, 셀들은 트리의 노드들을 형성한다. 매질(2)의 제1 공간 세분 레벨(21)은 단일 셀 [1]을



포함한다. 매질(2)의 제2 공간 세분 레벨(22)(제1 레벨보다 하위 계층 위치임)은 제1 레벨보다 4배 더 많은 셀들, 즉 4개의 셀들 [2] 내지 [5]를 포함한다. 매질(2)의 제3 공간 세분 레벨(23)(제2 레벨보다 하위 계층 위치임)은 제2 레벨보다 4배 더 많은 셀들, 즉 16개 셀들 [6] 내지 [17]을 포함한다. 매질(2)의 제4 공간 세분 레벨(24)(제3 레벨보다 하위 계층 위치임)은 제3 레벨보다 4배 더 많은 셀들, 즉 64개 셀들 [18] 내지 [25]을 포함하고, 셀들 [18] 내지 [21]은 예를 들어 제3 레벨의 셀 [12]의 세분에 대응하고 셀들 [22] 내지 [25]은 예를 들어 제3 레벨의 셀 [15]의 세분에 대응한다. 매질(2)의 제5 공간 표현 레벨(도 2a 및 2b에 도시되지 않음)은 따라서 제4 레벨보다 4배 더 많은 셀들을 포함할 것이고, 매질(2)의 제6 공간 표현 레벨(도 2a 및 2b에 도시되지 않음)은 따라서 제5 레벨보다 4배 더 많은 셀들을 포함할 것이고, 등등이다.

[0046] 반투과 불균질 매질(10)이 3차원 요소일 때, 매질(2) 그 자체도 3차원 요소이고 매질은 동일한 치수의 따라서 동일한 체적의 셀들로 계층적으로 세분되어 "옥트리(octree)" 유형의 구조를 형성한다. 매질(2)을 형성하는 동일한 치수(및 체적)의 셀들은 유리하게는 "보셀들(voxels)"이라고 하고, "보셀"은 체적소(volume element)에 대응한다. 3차원 매질(2)의 경우에, 제1 공간 세분 레벨(최상위 계층 위치)은 단일 "보셀"을 포함하고 그에 대한 체적은 매질(2)의 체적과 같다. 제2 공간 세분 레벨은 동일한 치수(및 체적)의 8개의 "보셀"을 포함하고, 제3 공간 세분은 제2 레벨보다 8배 더 많은 "보셀", 즉 512개 체적들을 포함하고, 등등이다. 동일한 "보셀"의 점들은 동일한 물리적 특성을 갖는데, 즉 그것들은 동일한 흡수 계수, 동일한 산란 계수 및 동일한 밀도를 갖고, 그 결과 "보셀" 내의 체적은 균질이다. 유리하게는, 제1 "보셀"에 속하는 점들의 물리적 특성은 제1 "보셀"의 이웃 "보셀"에 속하는 점들의 물리적 특성과 상이한데, 예를 들어 제1 "보셀"의 점들은 이웃 "보셀들"의 점들과 상이한 밀도  $D_1$ 를 갖는다. 변형에 따르면, 매질(2)의 "보셀들"은 서로 상이한 물리적 특성을 갖는다. 다른 변형에 따르면, 매질(2)의 일부 "보셀들"은 동일한 물리적 특성을 갖는다. 매질(2)은 비록 그것을 구성하는 일부 "보셀들"이 동일한 물리적 특성 예를 들어 동일한 밀도  $D_1$ 를 가질지라도 여전히 전체로서 불균질이다.

[0047] 이 설명의 나머지에서, "보셀"이라는 용어는 매질(2)의 공간 세분 요소를 나타내기 위해 사용될 것이고, 비록 그 공간 세분 요소가 도면들에서 명확함을 위해 2차원의 셀에 의해 표현될지라도 그러하다. 2차원 요소에 대하여, 셀이라는 용어는 "보셀"이라는 용어로 대체될 것이고, 설명된 추론은 셀 및 "보셀"에 동일하게 적용된다. 먼저 숙련된 당업자들에게 공지된 임의의 방법에 따라서, 예를 들어 유체 역학 시뮬레이션 애플리케이션을 사용하여 또는 매질(10)을 표현하기 위해 매질(10)의 모든 점들에서, 매질(10)에 대한 특정한 디스플레이의 효과를 생성하기를 바라는 누군가에 의해 밀도 값들이 계산되고, 이 밀도 값은 한 점의 초기 밀도라고 한다. 그 후 "보셀"에 속하는 점들에 할당된 밀도 값이 그 "보셀"을 구성하는 점들 각각으로부터 이전에 계산된 초기 밀도들의 평균에 대응하도록 계산된다. 예를 들어, 단일 "보셀"이 있는 제1 공간 세분 레벨(계층적으로 최상위)에 대하여, 그 "보셀"의 모든 점들에 할당된 밀도 값은 매질(2)의 초기 밀도들의 평균 값에 대응한다. 매질(2)이 8개의 "보셀들"로 세분되어 있는 제2 레벨에 대하여, 점들의 평균 밀도는 "보셀"에 속하는 점들의 초기 밀도들의 평균을 사용하여 계산되고, 이 평균 값은 고려되는 "보셀"의 모든 점들에 할당되고 7개의 다른 "보셀들"에 대하여 그 동작이 반복된다. 매질(2)의 각각의 공간 세분 레벨에 대하여 동일한 추론이 적용된다.

[0048] "보셀"의 점들의 초기 밀도의 평균을 계산하여 이 평균 값을 "보셀"을 형성하는 모든 점들에 할당하는 것은 밀도 추정 오차를 도입하는 것을 수반하고, 그 오차는 매질(2)의 공간 세분이 대강(rough)일 때 더 큰데, 즉 그 오차는 매질(2)을 형성하는 "보셀들"의 수가 작을 때 더 크다. 2개의 계층적으로 연속적인 공간 세분 레벨들 사이의 밀도 추정 오차는 예를 들어 다음의 수학적식을 사용하여 계산된다:

## 수학식 8

$$D_{err} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 (|D_{n+1,i} - D_n|)$$

[0049]

[0050] 여기서  $D_{err}$ 는 하위 계층 레벨 (n+1)에 관한 계층 레벨 n의 밀도 추정 오차를 나타내고,

[0051]  $D_{n+1,i}$ 는 계층 레벨 n 바로 아래의 계층 레벨 (n+1)의 "보셀" i의 점들의 평균 밀도를 나타내고,

[0052]  $D_n$ 은 하위 레벨 (n+1)에서 8개의 "보셀들"로 분해되는 공간 세분 레벨 n의 노드에 의해 표현된 "보셀"의 점들의 평균 밀도를 나타낸다.

[0053] 상기시키는 것으로서, "보셀"을 가로지르는 광의 감쇠는 다음의 수학식에 의해 제공된다:

### 수학식 9

$$Att = \exp \int_{x=x_{min}}^{x=x_{max}} -\sigma_t D(x) dx$$

[0055] 여기서  $x_{min}$  및  $x_{max}$ 는 각각 공간 세분 레벨  $n$ 의 고려되는 "보셀"과의 광 산란 또는 방사 방향의 제1 교차점 및 제2 교차점에 대응하고,

[0056]  $D$ 는 밀도를 나타낸다.

[0057] 예를 들어 수학식 8에 의해 계산된 밀도 오차를 고려하여, "보셀"에서의 감쇠의 하한 및 상한이 추론된다:

### 수학식 10

$$Att_{min} = \exp \int_{x=x_{min}}^{x_{max}} -\sigma_t D(x)(1 - D_{err}) dx$$

### 수학식 11

$$Att_{max} = \exp \int_{x=x_{min}}^{x_{max}} -\sigma_t D(x)(1 + D_{err}) dx$$

[0060] 도 3a, 3b, 4a 및 4b는 본 발명의 특정한 실시예에 따른, 광의 산란 방향에 따른 도 1의 매질(10)의 몇 개의 공간 세분 레벨들을 나타낸다. 도 3a, 3b, 4a 및 4b는 또한 본 발명의 특정한 실시예에 따른, 광의 하나의 산란 방향  $\omega_{out}(120)$ 을 따르는 매질(2)(간단한 기하학적 형태에 따른 매질(10)을 나타냄)의 공간 세분 레벨의 선택 방법을 예시한다.

[0061] 도 3a는 예를 들어 레벨(24)에 또는 도 2b에 도시된 하위 레벨에 대응하는, 매질(2)의 최하위 공간 세분 레벨의 2차원 표현이다. 매질(2)은  $n$ 개의 보셀들(30001 내지 3000n)로 구성된다. 광 산란 방향  $\omega_{out}(120)$ 이 가로지르는 "보셀들", 예를 들어 "보셀들"(30025 및 30064)은 도 3a에서 어렵게 나타나 있다. 매질(2)을 가로지르는 광의 산란  $\omega_{out}$ 을 나타내는 오른쪽 부분은 레이-마칭으로 알려진 방법을 사용하여 이 산란 방향을 따르는 광의 감쇠의 추정을 위해  $m$ 개 점들의 세트  $M_0(31)$ ,  $M_1(32)$ ,  $M_2(33)$  ...  $M_i(34)$  ...  $M_m(35)$ 으로 샘플링된다.

[0062] 도 3b는 도 3a에 도시된 공간 세분 레벨보다 계층적으로 바로 위의 공간 세분 레벨, 예를 들어 도 2a가 레벨(24)을 나타낸다면 레벨(23)의 2차원 표현이다. 따라서 도시된 매질(2)은  $p$ 개의 "보셀들"(3001 내지 300p)을 포함하고, 도 2b의 각각의 "보셀"은 도 2a의 8개의 "보셀들"의 합병에 대응하고, 이 8개의 "보셀들"은 매질(2)의 공간 세분 레벨들의 트리 구조를 나타내는 옥트리에서 계층적으로 그것들 위의 "보셀"에 연결되어 있다. 산란 방향  $\omega_{out}(120)$ 이 가로지르는 "보셀들", 예를 들어 "보셀들"(3049 및 3016) 또한 어렵게 나타나 있다. 도 3a 및 3b에 공통인 요소들은 동일한 참조 부호를 갖는데, 예를 들어  $m$ 개 점들의 세트  $M_0(31)$ ,  $M_1(32)$ ,  $M_2(33)$  ...  $M_i(34)$  ...  $M_m(35)$ 은 방향  $\omega_{out}(120)$ 의 샘플링을 형성한다.

[0063] 산란된 광의 양의 추정의 계산 속도/정확도 사이의 최선의 절충안을 형성하는 공간 세분 레벨, 즉 산란된 광의 양의 추정을 위해 유도된 오차가 디스플레이에 관하여 허용할 수 있는(즉 예를 들어 사람의 눈에 보이지 않는) 계층적으로 최상위의 공간 세분 레벨을 선택하기 위해, 처음에 점  $M_0(31)$ 을 통해 산란된 광의 양이 도 1에 관하여 설명된 방법을 사용하여, 즉 계층적으로 최하위의 공간 세분 레벨, 즉 도 2a에 관하여 설명된 레벨에 대해, 점  $M_0$ 에서의 입사 광의 감쇠를 계산하는 것에 의해 추정된다. 이 계산된 값은 산란된 광의 양의 제1 참조 값을 형성한다. 두 번째로, 점  $M_1(32)$ 을 통해 산란된 광의 양이 계층적으로 최하위의 공간 세분 레벨에 대해 동일한



방법에 따라(점  $M_1$ 에서의 입사 광의 감쇠의 계산 후에) 계산된다. 그 후 이 값으로부터, 점  $M_0$ 에서  $M_1$  및  $M_0$ 를 통해 산란된 광의 총량을 추정하기 위해,  $M_1$ 과  $M_0$  사이의 감쇠 광이 계산되고, 이 감쇠 값은 밀도 및 따라서 수학식 6 및 9에 따라 가로지르는 "보셀들"에 의존한다. 세 번째로, 점  $M_1(32)$ 을 통해 산란된 광의 양이 최하위 레벨보다 계층적으로 바로 상위의 공간 세분 레벨, 즉 도 2b에 관하여 표현된 레벨에 대해 동일한 방법에 따라 계산된다. 그 후 이 값을 사용하여, 점  $M_0$ 에서  $M_1$  및  $M_0$ 를 통해 산란된 광의 총량을 추정하기 위해,  $M_1$ 과  $M_0$  사이의 광의 감쇠가 계산되고, 이 감쇠 값은 두 번째로 계산된 것과 다른데,  $M_0$ 와  $M_1$  사이에 가로지르는 "보셀들"은 하나의 공간 세분 레벨에서 계층적으로 다음 최상위의 공간 세분 레벨 사이에 동일하지 않기 때문이다. 이 2개의 연속적인 공간 세분들에 대하여 점  $M_0$ 에서 점  $M_1$  및  $M_0$ 를 통해 산란된 전체 광의 양 값들을 비교하는 것에 의해, 매질(2)의 표현 차이에 관련된 오차를 나타내는 값이 구해진다(즉 상이한 연속적인 공간 세분 레벨들을 통해). 오차를 나타내는 이 값은 마지막으로 임계값과 비교되는데, 이 임계값은 예를 들어 사람의 눈에 보이지 않기 때문에 허용할 수 있는 잘못을 나타낸다. 오차가 임계값보다 작다면, 이것은 계산을 감소시키면서 산란된 광의 양의 추정을 위해 거의 오차를 도입하지 않았으므로 최상위 공간 세분 레벨이 선택되었다는 것을 의미하는데, "보셀들"은 더 큰 사이즈를 갖고 따라서 밀도는 매질(2)에서 자주 변하지 않으므로, 그 복잡성이 밀도 변화에 직접 의존하는 광의 감쇠의 계산을 감소시킨다.

[0064]

오차가 임계값보다 크다면, 이것은 최하위 공간 세분 레벨, 즉 가장 많은 "보셀들"을 갖는 공간 세분 레벨이 선택되었다는 것을 의미하는데, 이것은 더 상위 계층 레벨은 예를 들어 사람의 눈에 보이는 너무 큰 오차로 귀결되는 것을 의미하기 때문이다. 그 후 다음 점  $M_2(33)$ 에 대해 동일한 계산이 수행된다. 최하위 공간 세분 레벨에 대하여 점  $M_2$ 를 통해 산란된 광의 양이 계산되고, 그 후 최하위 공간 세분 레벨에 대하여 점  $M_0$ 에서  $M_2$ 를 통해 산란된 광의 양을 추정하기 위해 경로  $M_2M_0$  상의 광 감쇠가 계산된다. 점  $M_0$ 에서  $M_2$ 를 통해 산란된 광의 양과 비교되는 참조 값은 방향(120)에서  $M_2$ 로부터 상류에 위치한 점들, 즉 점들  $M_0$  및  $M_1$ 에 의해 산란된 광의 양이다. 그 후 계층적으로 바로 상위의 공간 세분 레벨, 즉 도 2b에 도시된 레벨에 대해 동일한 방식으로 점  $M_0$ 에서  $M_2$ 를 통해 산란된 광의 양이 추정된다. 이 광의 양은 차례로 최하위 공간 세분 레벨, 즉 도 2a의 레벨에 대해 점들  $M_0$  및  $M_1$ 을 통해 산란된 광의 양으로 구성된 참조와 비교된다. 2개의 연속적인 공간 세분 레벨들에 대해  $M_2$ 를 통해 산란된 광의 양과  $M_0$  및  $M_1$ 을 통해 산란된 광의 양을 비교하는 것에 의해, 2개의 레벨들 각각에 대한 추정된 감쇠 차이를 나타내는 추정 오차가 결정된다. 이 오차가 임계값보다 작다면, 최상위 세분 레벨이 정확한 추정을 위해 충분하다는 것을 의미한다. 그렇지 않고, 이 오차가 임계값보다 크다면, 최상위 세분 레벨은 불충분하고 가장 미세한 세분 레벨이 보존되어야 하는데, 즉 계층적으로 둘 중 가장 작은 상위 레벨 및 동일한 동작이 다음 점  $M_3(34)$ 에 대해 수행되어야 한다. 가장 작은 미세 세분 레벨이  $M_1$ 에 대해 충분하다면, 그것은  $M_0$ 까지 산란 방향에서  $M_1$ 의 하류에 위치한 모든 점들에 대해 충분하다. 사실 매질(2) 안으로 더 진행할수록, 점들을 통해 산란된 광의 감쇠는 더 커지고 이들 점들에 의해 산란된 광의 양은  $M_0$ 에서 산란된 광의 총량에 관하여 크다. 오차가 점  $M_1$ 에 대하여 허용할 수 있다면, 그것은  $M_0$  쪽으로 하류에 위치한 점  $M_{i+1}$ 에 대해서도 더욱 더 허용할 수 있다. 이것은 도 4b에 도시되어 있는데, 점들  $M_0$  내지  $M_2$ 에 대하여, 최하위 계층 레벨이 선택되지만 상위 계층 레벨들의 다음 점들이 선택된다는 것을 알 수 있다.  $M_1$ 에 대하여 최하위 레벨 바로 위의 계층 레벨이 허용할 수 있는 오차의 마진으로 산란된 광의 양의 추정을 얻기에 충분하다면, 묻는 질문은 다음 최상위 계층 레벨 자체도 충분한가이다. 이것은 도 4a에 도시되어 있다. 점들  $M_1(34)$  그 후  $M_{i+1}(36)$  그 후  $M_{i+2}(37)$  그 후  $M_{i+3}(38)$ 에 대하여, 도 3b에서 표현된 세분 레벨에 대해 점  $M_0$ 까지 고려되는 점을 통해 산란된 광의 양은 이들 점들에 대해 선택된 세분 레벨에 대해 상류에 위치한 점들을 통해 산란된 광의 양과 비교된다. 그 후 이들 동일한 점들에 대해, 순차적으로, 연속적인 상위 세분 레벨, 예를 들어 레벨(22)(도 2b에 레벨(23)이 표현되어 있다면)에 대해 점  $M_0$ 까지 이들 점들을 통해 산란된 광의 양 자체도 상류의 점들을 통해 점  $M_0$ 에서 산란된 광의 양을 나타내는 동일한 참조 값과 비교된다. 2개의 연속적인 세분 레벨들 사이의 광의 감쇠 차이를 나타내는 오차 정보의 항목이 그것으로부터 추론된다. 이 오차가 임계값보다 큰 점들에 대해, 이것은 둘 중 최상위 세분 레벨이 산란된 광의 양의 정확한 추정을 위해 불충분하다는 것을 의미한다. 한 점에 대해 이 오차가 임계값보다 작을 경우, 이 점에서 최상위 세분 레벨은 충분하고 그것은 광의 감쇠의 추정을 위해 필요한 전력 및/또는 계산 시간에 관하여 비용이 더 적게 드는 것으로서 선택될 것이고, 한 점과 다른 점 사이의 밀도 변화는 계층적으로

하위 세분 레벨에 대한 것보다 더 적다. 이 마지막 점(즉 오차가 임계값보다 작은 첫 번째 점)에 후속하는 점들에 대해, 최상위 세분 레벨은 또한 충분할 것이고 계층적으로 상위 세분 레벨 또한 충분한지를 알기 위한 질문이 제기되고, 이것은 방향  $\omega_{out}(120)$ 으로 매질(2)의 한계에 있는 점  $M_m(35)$ 에 도달할 때까지 계속된다.

[0065] 이런 식으로 도 4b의 표현에 도달하고 여기서 공간 세분 레벨은 방향  $\omega_{out}(120)$ 을 따라 매질 안으로 더 진행하여  $M_m(35)$  쪽으로 진행함에 따라 계층적으로 더 상위이다. 필요한 계산 능력과 산란 방향을 따라 산란된 광의 양의 추정 품질 사이의 최선의 절충안은 이런 식으로 발견된다.

[0066] 도 5는 본 발명의 특정한 실시예에 따른, 입사 광의 방향  $\omega_{in}(110)$ 을 따르는 몇 개의 공간 세분 레벨들을 갖는 불균질 반투과 매질(10)을 나타내는 매질(2)을 나타낸다. 도 3a, 3b, 4a 및 4b에 관하여 설명된 바와 같이, 산란 방향(관찰 방향으로도 알려짐)  $\omega_{out}(120)$ 을 따라 매질(2)을 통해 방사된 광의 양은 레이-마칭으로 알려진 방법을 사용하여 실현된다. 산란 방향  $\omega_{out}(120)$ 의 점, 예를 들어 점  $M_i(34)$ 를 통해 산란된 광의 양을 계산하기 위해서는, 점  $M_i(34)$ 에서의 입사 광의 감쇠가 먼저 추정되어야 한다. 점  $M_i$ 에서의 입사 광의 감쇠의 추정도 레이-마칭 방법을 사용하여 수행되고 도 3a, 3b, 4a 및 4b에 관하여 설명된 것과 같은 추론이 입사 광 방향  $\omega_{in}(110)$ 을 따르는 최적의 공간 세분 레벨들을 선택하는 데 적용된다. 처음에, 가장 미세한 공간 세분 레벨, 즉 계층적으로 최하위 레벨이 방향  $\omega_{in}(110)$ 을 따라서 매질(2)에 적용되고 방향  $\omega_{in}(110)$ 을 따르는 점  $M_i$ 에서의 광 감쇠가 도 1에 관하여 설명된 바와 같이 레이-마칭 방법을 사용하여 추정된다. 이 감쇠 값은 제1 참조 값을 나타낸다. 그 후 계층적으로 최하위 공간 세분 레벨에 대해 그 후 최하위 레벨 바로 위의 레벨에 대해 점  $N_0$ 에서의 광 감쇠가 추정된다. 이들 값들은 참조 값과 비교되는데, 즉 점  $M_i$ 에서의 총 감쇠에서 그것들이 나타내는 부분이 추출되고 점  $N_0$ 에서의 감쇠 추정 오차가 추론된다. 이 오차가 제2 임계값보다 작다면, 둘 중 최상위 공간 세분 레벨(즉 가장 적은 "보셀들"을 갖는 것)이 광 감쇠의 양호한 품질 추정을 위해 충분한 것으로 간주된다. 이 오차가 제2 임계값보다 크다면, 최상위 공간 세분 레벨이 선택될 경우  $N_0$ 에서의 감쇠의 추정이 너무 대략적인 것으로 되기 때문에 최상위 공간 세분 레벨은 선택되지 않는다. 그 후 둘 중 최상위 공간 세분 레벨이 충분한 점  $N_i$ 에 도달할 때까지 점  $N_1$  그 후  $N_2$  그 후  $N_i$ 에 대해 동일한 동작들이 계속적으로 수행되는데, 그것은 더 미세한 공간 세분에 대해 행해진 추정과 비교하여 제2 임계값보다 이 점에서의 감쇠(또는 더 구체적으로 점  $M_i$ 에서의 총 감쇠에 관하여 이 점에서의 감쇠 부분)에서 추정 오차가 더 낮아지기 때문이다. 점들  $N_0$  내지  $N_2$ 에 대해, 최하위 레벨 공간 세분이 선택되고  $N_i$  및 그 후,  $M_i$ 까지의 점들에 대해, 어느 공간 세분 레벨이 제2 임계값과 비교하여 필요한 계산들의 감소와 입사 광 감쇠의 추정의 정확도 사이의 최선의 절충안을 제공하는지를 결정하기 위해 공간 세분들의 옥트리 표현을 거슬러 올라가면서 계층적으로 연속적인 2개의 공간 세분 레벨에 대해 입사 광의 감쇠가 다시 추정된다. 마지막으로 입사 방향의 제1 점들  $N_0$  내지  $N_2$ 에 대해 가장 미세한 공간 세분 레벨이 적용되는 순간이 오고, 그 후 후속 점들, 즉  $N_i$  및  $N_{i+1}$ 에 대해 계층적 관점에서 최하위 레벨 바로 위의 제2 공간 세분 레벨이 적용되고, 그 후 점  $M_i$ 까지 점  $N_{i+1}$ 에 후속하는 점들에 대해 제2 레벨 바로 위의 제3 공간 세분 레벨이 적용된다.

[0067] 입사 광의 방향  $\omega_{in}(110)$ 을 따라서 몇 개의 공간 세분 레벨들의 선택은 예를 들어 제3 임계값보다 작은, 최소 오차로 점  $M_i$ 에서의 광의 총 감쇠의 추정을 보존하면서, 입사 광  $\omega_{in}(110)$ 이 가로지르는 "보셀들"의 수를 최적으로 감소시키는(이는 밀도가 변화하는 점들의 수를 감소시키는 것과 동일하고, 계산의 복잡성은 점에서 점으로의 밀도 변화에 직접 관련됨) 이점을 제공한다.

[0068] 유리하게는, 매질(2)은 둘 이상의 광원(11)에 의해 비추어진다. 따라서 산란 방향  $\omega_{out}(120)$ 의 각 점  $M_i$ 는 몇 개의 입사 광선들을 수신하고 점  $M_i$ 에 의해 수신된 광의 양은 수신된 요소 입사 광(elementary incident light)(즉 입사 광의 각 광선마다)의 양들의 합계에 대응한다. 점  $M_i$ 에서의 광의 감쇠를 추정하기 위해, 입사 광의 각 방향에 대해 전술한 동작들이 반복된다.

[0069] 도 6은 불균질 반투과 매질(10)에 의해 그리고 하나 또는 몇 개의 이미지들의 디스플레이 신호들의 생성시에 산란된 광의 양의 추정을 위해 구성된 장치(6)의 하드웨어 실시예를 개략적으로 나타낸다. 장치(6)는 예를 들어 퍼스널 컴퓨터(PC), 랩톱 또는 게임 콘솔에 대응한다.

- [0070] 장치(6)는 클록 신호도 수송하는 주소 및 데이터의 버스(65)에 의해 서로 연결된 다음의 요소들을 포함한다:
- [0071] - 마이크로프로세서(61)(또는 CPU),
- [0072] - 다음을 포함하는 그래픽 카드(62):
- [0073]       • 몇 개의 그래픽 프로세서 유닛(또는 GPU)(620),
- [0074]       • 그래픽 랜덤 액세스 메모리(GRAM)(621),
- [0075] - ROM(Read Only Memory) 유형의 비휘발성 메모리(66),
- [0076] - 랜덤 액세스 메모리 또는 RAM(67),
- [0077] - 예를 들어 키보드, 마우스, 웹캠 등의 하나 또는 몇 개의 I/O(입력/출력) 장치(64), 및
- [0078] - 전원(68).
- [0079] 장치(6)는 또한 특히 그래픽 카드에서 계산되고 구성된 합성 이미지들의 디스플레이를 예를 들어 라이브로 디스플레이하기 위해 그래픽 카드(62)에 직접 연결된 디스플레이 스크린 유형의 디스플레이 장치(63)를 포함한다. 디스플레이 장치(63)를 그래픽 카드(62)에 연결하기 위해 전용 버스를 사용하는 것은 훨씬 더 큰 데이터 전송 비트레이트를 갖고 따라서 그래픽 카드에 의해 구성된 이미지들을 디스플레이하는 것에 대한 대기 시간(latency time)을 감소시키는 이점을 제공한다. 변형에 따르면, 디스플레이 장치는 장치(6)의 외부에 있고 디스플레이 신호들을 전송하는 케이블에 의해 장치(6)에 연결된다. 장치(6), 예를 들어 그래픽 카드(62)는 예를 들어 LCD 또는 플라스마 스크린 또는 비디오-프로젝터 등의 외부 디스플레이 수단에 디스플레이 신호를 전송하도록 구성된 전송 또는 연결을 위한 수단(도 6에 도시되지 않음)을 포함한다.
- [0080] 메모리들(62, 66 및 67)의 설명에서 사용된 "레지스터"라는 단어는 언급된 메모리들 각각에서 저장량(일부 이진 데이터)의 메모리 구역뿐만 아니라 대용량(전체 프로그램이 저장되거나 계산된 데이터를 나타내는 데이터의 전부 또는 일부가 디스플레이되는 것을 가능하게 함)의 메모리 구역 모두를 나타낸다는 것에 유의한다.
- [0081] 스위치 온 될 때, 마이크로프로세서(61)는 RAM(67)에 포함된 프로그램의 명령어들을 로딩하여 실행한다.
- [0082] 랜덤 액세스 메모리(67)는 특히 다음을 포함한다:
- [0083] - 레지스터(670) 내에, 장치(6)를 스위치 온 하는 것에 대하여 책임이 있는 마이크로프로세서(61)의 운영 프로그램,
- [0084] - 불균질 반투과 매질(10)을 나타내는 파라미터들(671)(예를 들어 밀도, 광 흡수 계수, 광 산란 계수의 파라미터들).
- [0085] 본 발명에 특유하고 이후에 설명된 방법의 단계들을 구현하는 알고리즘들은 이들 단계들을 구현하는 장치(6)와 관련된 그래픽 카드(62)의 메모리 GRAM(67)에 저장된다. 스위치 온 되고 일단 매질을 나타내는 파라미터들(670)이 RAM(67)에 로딩되면, 그래픽 카드(62)의 그래픽 프로세서들(620)은 이들 파라미터들을 GRAM(621)에 로딩하고 이들 알고리즘들의 명령어들을 예를 들어 HLSL(High Level Shader Language) 언어 또는 GLSL(OpenGL Shading Language)을 사용하여 "셰이더(shader)" 유형의 마이크로프로그램의 형태로 실행한다.
- [0086] 랜덤 액세스 메모리 GRAM(621)은 특히 다음을 포함한다:
- [0087] - 레지스터(6210) 내에, 매질(10)을 나타내는 파라미터들,
- [0088] - 매질(2)의 상이한 공간 세분 레벨들을 나타내는 공간 세분 파라미터들(6211),
- [0089] - 매질(2, 10)의 점들의 세트에 대한 광 강도 감쇠 값들(6212),
- [0090] - 2개의 연속적인 계층 공간 세분 레벨들 사이의 광 감쇠 차이를 나타내는 오차 정보 항목들(6213), 및
- [0091] - 하나 또는 몇 개의 임계값들(6214).
- [0092] 변형에 따르면, GRAM(621)에서 이용 가능한 메모리 저장 공간이 불충분한 경우 파라미터들(6211), 값들(6212 및 6214) 및 오차 정보 항목들(6213)의 저장을 위해 CPU(61)에 의해 RAM(67)의 일부가 할당된다. 그러나 이 변형은 GPU들에 포함된 마이크로프로그램들로부터 구성된 매질(2, 10)의 표현을 포함하는 이미지의 구성에서 더 큰 대기 시간을 초래하는데, 이는 GPU들로부터 GRAM으로 및 그 반대로 데이터의 전송을 위해 그래픽 카드에서 이용

가능한 전송 용량보다 일반적으로 그 전송 용량이 열등한 버스(65)를 경유하여 그래픽 카드로부터 랜덤 액세스 메모리(67)로 데이터가 전송되어야 하기 때문이다.

[0093] 다른 변형에 따르면, 전원(68)은 장치(6)의 외부에 있다.

[0094] 도 7은 본 발명의 제2의 비제한적인 특히 유리한 실시예에 따른, 장치(6)에서 구현된 불균질 반투과 매질(10)에 의해 산란된 광의 양의 추정을 위한 방법을 나타낸다.

[0095] 초기화 단계 70 동안에는, 장치(6)의 상이한 파라미터들이 업데이트된다. 특히, 불균질 반투과 매질(10)을 나타내는 파라미터들은 어떤 식으로든 초기화된다.

[0096] 그 후, 단계 71 동안에는, 하나 또는 몇 개의 산란 방향  $\omega_{out}(120)$ (관찰 방향이라고도 함)을 따라서 및/또는 하나 또는 몇 개의 입사 광 방향(광 방사 방향이라고도 함)  $\omega_{in}(110)$ 을 따라서 매질(10)을 나타내는 매질(2)의 하나 또는 몇 개의 공간 세분 레벨들이 선택된다. 이 또는 이들 세분 레벨(들)은 2개의 계층적으로 연속적인 공간 세분 레벨들 사이에 매질(2)에서의 광의 감쇠의 차이를 나타내는 하나 또는 몇 개의 정보 항목들에 따라 옥트리(또는 2차원 매질(2)의 경우 쿼터너리(quarterternary) 트리)에서 계층적으로 순서화된 복수의 공간 세분 방향들(21 내지 24) 중에서 선택된다. 하나의 광 산란 방향  $\omega_{out}$ 을 따라서, 매질(2)의 최하위 계층 공간 세분 레벨(즉 매질의 가장 미세한 표현 레벨, 즉 가장 많은 수의 "보셀들"을 포함하는 것)에 대해 매질(2)과 방향  $\omega_{out}$  사이의 교차점을 통해 산란된 광의 감쇠를 나타내는 값이 추정되고, 이 값은 참조 값 역할을 한다. 그 후 최하위 공간 세분 레벨에 대해 방향의 점들의 세트(이 점들의 세트는 레이-마칭 방법의 적용을 위해 수행되는 산란 방향의 샘플링에 대응함) 중 제1 점을 통해 산란된 광의 감쇠를 나타내는 제1 값이 추정된다. 그 후, 동일한 제1 점에 대하여, 최하위 레벨보다 계층적으로 바로 위의 공간 세분 레벨에 대해 산란된 광의 감쇠를 나타내는 값의 다른 추정치가 추정된다. 이 2개의 제1 값들을 참조 값과 비교하여, 매질과 방향  $\omega_{out}$ 의 교차점에서의 총 감쇠에서 이 제1 점의 광의 감쇠(이들 2개의 제1 값들 각각의) 부분을 결정한다. 산란된 광의 총 감쇠에서 이들 2개의 부분들을 비교하는 것에 의해, 산란된 광의 감쇠의 계산에서 최상위 공간 세분 레벨(더 적은 "보셀들"을 포함하므로 둘 중 가장 작은 미세한 레벨)을 통해 유도된 오차를 나타내는 오차 정보 항목을 추론하는 것이 가능하다. 이 오차에 따라, 적응된 공간 세분 레벨, 즉 제1 점에 대해 허용할 수 있는 오차(예를 들어 사람의 눈에 보이지 않는 것)를 유도하는 공간 세분 레벨이 선택된다. 이들 동작들은 관찰 방향으로 매질(2)에 들어가는 산란 방향의 각 샘플링 점에 대해 한 점 한 점 반복된다. 주어진 점에 대해 둘 중 최상위 공간 세분 레벨이 충분하다면, 그 레벨은 모든 후속하는 점들에 대해 충분한 것으로 판단된다. 이 주어진 점으로부터, 최상위 레벨에 의해 유도될 오차를 추정하기 위해 최하위 레벨 바로 위의 레벨에 대해 및 이 후자의 바로 위의 레벨에 대해 감쇠가 추정된다. 이들 동작들은 매질(2)의 최종 한계에 도달할 때까지 관찰 방향  $\omega_{out}$ 의 모든 샘플링 점들에 대해 반복된다. 유리하게는 매질(2)을 통해 광 산란 방향을 따라 몇 개의 공간 세분 층들이 선택된다. 이 동일한 추론이 입사 광 방향의 샘플링 점에 적용되는데, 여기서 유도된 오차들이 허용할 수 있는 것으로 판단되는 입사 광 방향을 따르는 공간 세분 레벨들을 선택하기 위해 2개의 계층적으로 연속적인 세분 레벨들에 대해 광원으로부터 수신된 광의 감쇠를 나타내는 제2 값들이 추정된다.

[0097] 변형에 따르면, 산란된 광의 2개의 제1 감쇠 값들이 계산된 2개의 계층적으로 연속적인 공간 세분 레벨들 중 하나 또는 다른 하나를 선택하기 위해, 도 7에 도시되지 않은 비교 단계 동안에, 산란 방향의 샘플링 점을 통해 산란된 광을 나타내는 제1 값들의 비교의 결과로 생기는 제1 오차 정보라 불리는 오차 정보가 제1 임계값과 비교된다. 제1 오차 정보 항목이 제1 임계값보다 작다면, 제1의 계층적으로 최상위 공간 세분 레벨이 선택되는데, 이것은 최상위 레벨이, 매질에서 더 많은 "보셀들"을 갖고 따라서 매질(2)의 물리적 특성, 특히 밀도에서 더 많은 변화를 갖는, 하위 레벨에 대하여 생기는 것보다 계산 비용이 더 적으면서 광 감쇠의 추정에서 허용할 수 있는 오차로 귀결된다는 것을 의미한다. 제1 오차 정보가 제1 임계값보다 크다면, 최하위 계층 공간 세분 레벨이 선택되는데, 이것은 최상위 레벨이 광의 감쇠의 추정에서 허용할 수 없는 오차(예를 들어, 사람의 눈에 보이는 것)로 귀결된다는 것을 의미한다.

[0098] 다른 변형에 따르면, 산란된 광의 2개의 제2 감쇠 값들이 계산된 2개의 계층적으로 연속적인 공간 세분 레벨들 중 하나 또는 다른 하나를 선택하기 위해, 도 7에 도시되지 않은 비교 단계 동안에, 입사 광 방향의 샘플링 점에서 광원으로부터 수신된 광의 감쇠를 나타내는 제2 값들의 비교의 결과로 생기는 제2 오차 정보라 불리는 오차 정보가 제2 임계값과 비교된다. 제2 오차 정보 항목이 제2 임계값보다 작다면, 계층적으로 최상위 공간 세분 레벨이 선택되는데, 이것은 최상위 레벨이, 매질에서 더 많은 "보셀들"을 갖고 따라서 매질(2)의 물리적 특성, 특히 밀도에서 더 많은 변화를 갖는, 하위 레벨에 대하여 생기는 것보다 계산 비용이 더 적으면서 수신된

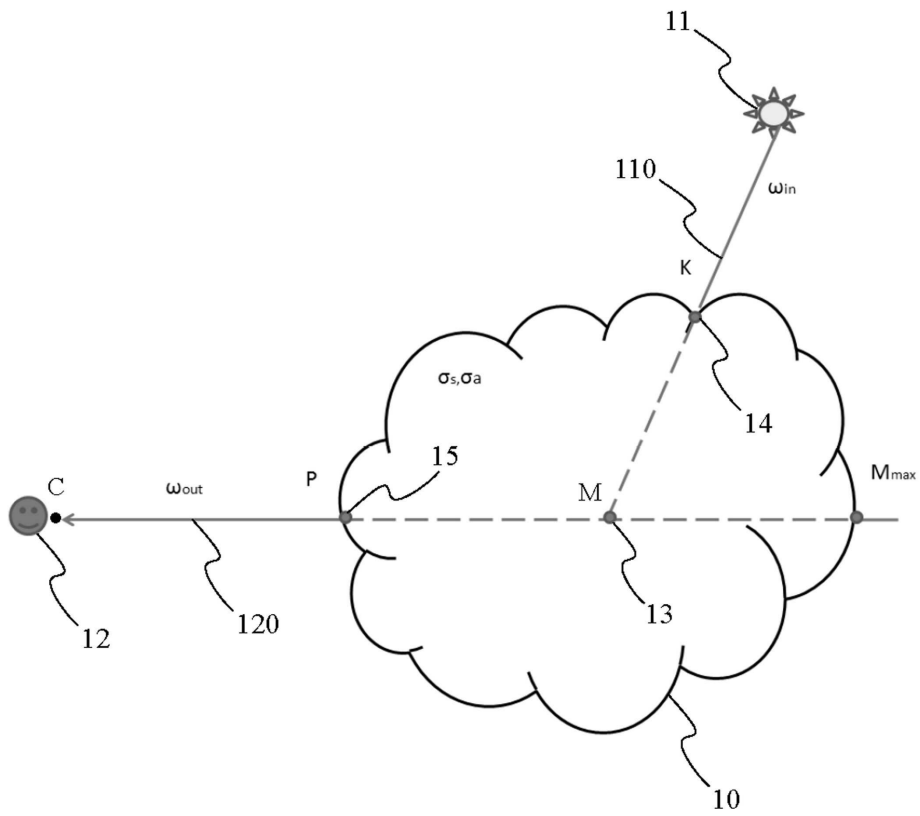


광 감쇠의 추정에서 허용할 수 있는 오차로 귀결된다는 것을 의미한다. 제2 오차 정보가 제2 임계값보다 크다면, 최하위 계층 공간 세분 레벨이 선택되는데, 이것은 최상위 레벨이 수신된 광의 감쇠의 추정에서 허용할 수 없는(예를 들어, 사람의 눈에 보이는) 오차로 귀결된다는 것을 의미한다.

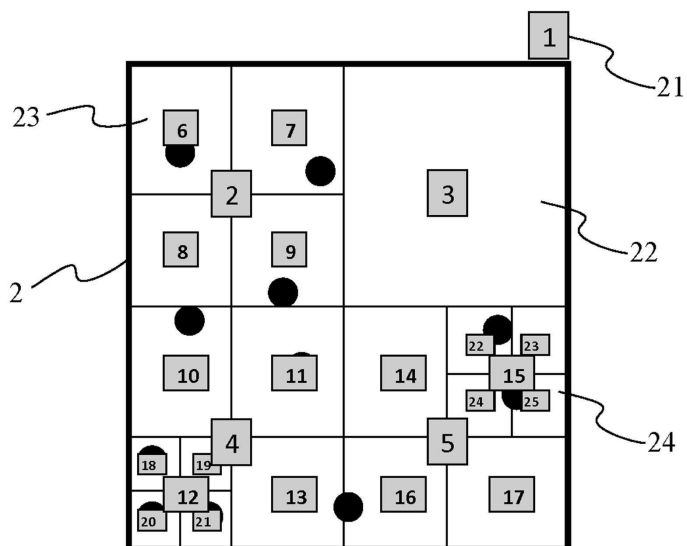
- [0099] 유리하계는, 제1 및 제2 오차 정보 항목들은 상이한 값들을 가진다. 변형에 따르면, 제1 및 제2 오차 정보 항목들은 동일한 값을 가진다. 다른 변형에 따르면, 제1(각각 제2) 오차 정보 항목은 비교되는 공간 세분 레벨들에 따라 값을 변경한다.
- [0100] 그 후 단계 72에서는, 샘플링 방법, 유리하계는 레이-마칭 방법을 사용하여 매질(2)을 통해 산란된 광의 양이 추정된다. 유리하계는, 샘플링은 산란 방향을 따라 "보셀"마다 샘플링 점이 있도록 선택된다. 변형에 따르면, 샘플링은 세분 레벨이 더 미세할 때 더 미세하고 세분 레벨이 계층적으로 올라감에 따라 더 대강이도록 선택된다. 다른 변형에 따르면, 샘플링은 규칙적이다(즉, 샘플링 점들은 간격이 규칙적이다). 이 마지막 변형은 또한 계산에 관하여 그다지 비용이 많이 들지 않는데, 이는 동일한 "보셀"의 한 점과 다른 점 사이에 밀도가 변화하지 않기 때문이다.
- [0101] 단계 71 및 72는 유리하계는 관찰자(12)가 매질(10)의 여기저기에 이동할 때 반복되고, 매질(10)의 여기저기에 관찰자(12)의 각각의 요소 변위(elementary displacement)마다 매질(10)의 디스플레이를 형성하는 이미지가 재구성된다. 변형에 따르면, 단계 71 및 72는 매질 환경의 조건들, 특히 광원(들)이 변화할 때 반복된다.
- [0102] 당연히, 본 발명은 전술한 실시예들에 제한되지 않는다.
- [0103] 특히, 본 발명은 불균질 반투과 매질에 의해 산란된 광의 양의 추정을 위한 방법에 제한되지 않고 또한 이 방법을 구현하는 임의의 장치 및 특히 적어도 하나의 GPU를 포함하는 임의의 장치들에 미친다. 산란된 광의 양의 입사 및 방사 방향에서의 광 강도의 감소의 추정을 위해 도 1 내지 5에 관련하여 설명된 수학적식들의 구현은 또한 세이더 유형의 마이크로프로그램의 구현에 제한되지 않고 또한 임의의 프로그램 유형, 예를 들어 CPU 유형의 마이크로프로세서에서 실행될 수 있는 프로그램들의 구현에 미친다.
- [0104] 본 발명의 사용은 라이브 이용에 제한되지 않고 또한 임의의 다른 이용, 예를 들어 합성 이미지의 디스플레이를 위한 레코딩 스튜디오에서의 후반 작업 처리로 알려진 처리를 위한 것에 미친다. 후반 작업에서의 본 발명의 구현은 필요한 계산 시간을 감소시키면서 특히 사실성에 관하여 우수한 시각적 디스플레이를 제공하는 이점을 제공한다.
- [0105] 본 발명은 또한 2차원 또는 3차원으로 비디오 이미지의 구성을 위한 방법과 관련이 있는데, 여기서 불균질 반투과 매질에 의해 산란된 광의 양이 계산되고 결과로 생긴 광을 나타내는 정보가 이미지의 픽셀들을 디스플레이하기 위해 이용되고, 각 픽셀은 관찰 방향  $\omega_{out}$ 에 따른 관찰 방향에 대응한다. 이미지의 픽셀들 각각에 의해 디스플레이하기 위한 계산된 광 값은 관찰자의 상이한 관점들에 적응하도록 다시 계산된다.
- [0106] 본 발명은 또한 반투과 불균질 매질을 나타내는 하나 또는 몇 개의 공간 세분 레벨들의 선택을 위한 방법과 관련이 있다.
- [0107] 본 발명은 비디오 게임 애플리케이션에서 예를 들어, PC 또는 휴대형 컴퓨터에서 실행될 수 있는 프로그램을 통해서 사용되든지 또는 이미지들을 라이브로 생성하고 디스플레이하는 전문 게임 콘솔에서 사용되든지 할 수 있다. 도 6에 관련하여 설명된 장치(6)는 유리하계는 키보드 및/또는 조이스틱과 같은 상호 작용 수단을 구비하고, 예를 들어 음성 인식과 같은 명령 도입을 위한 다른 형식들도 가능하다.

도면

도면1

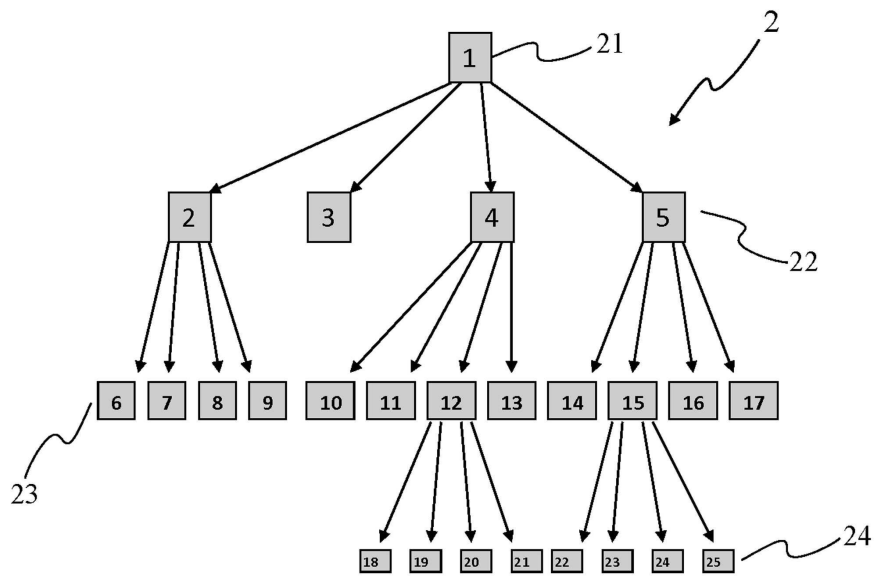


도면2a

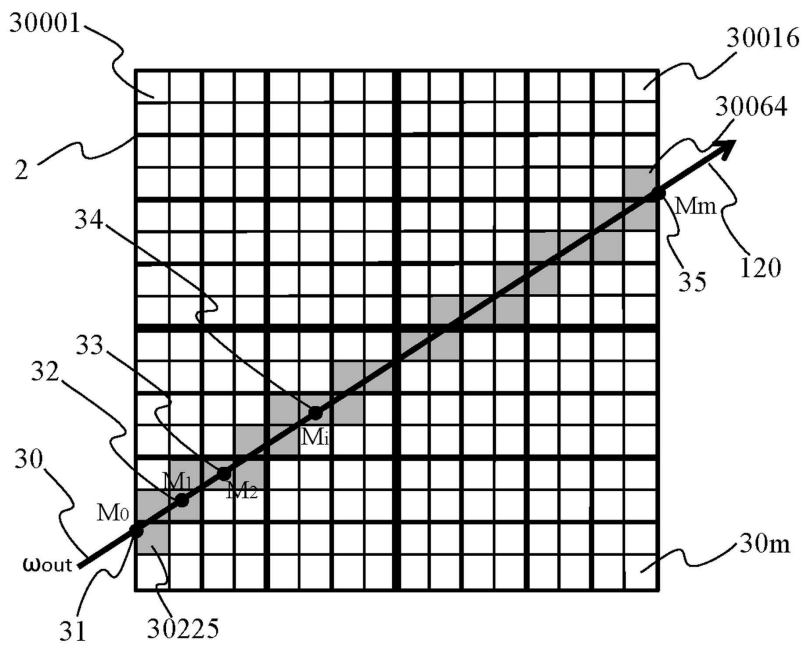




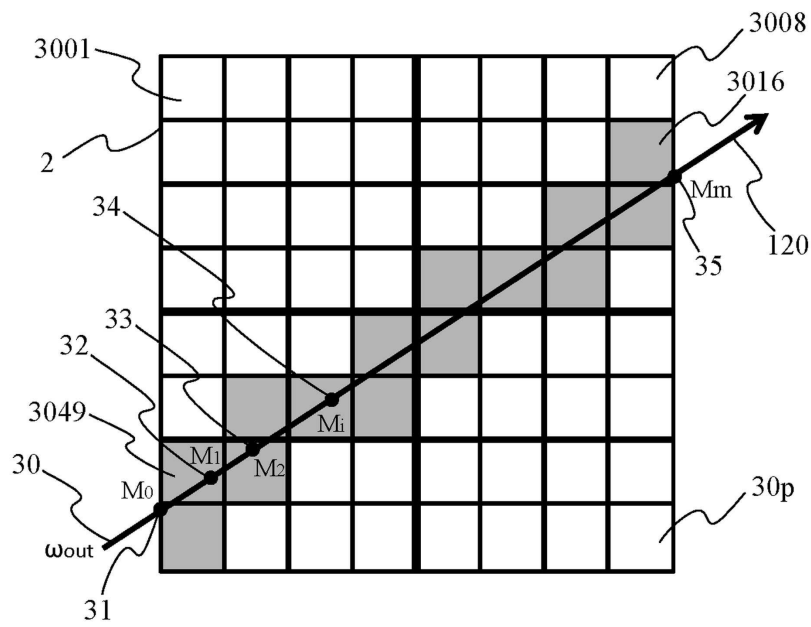
도면2b



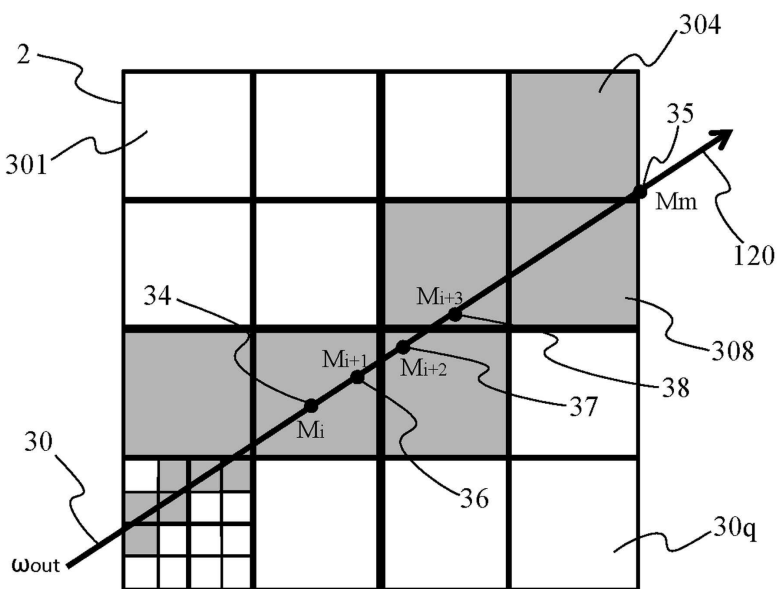
도면3a



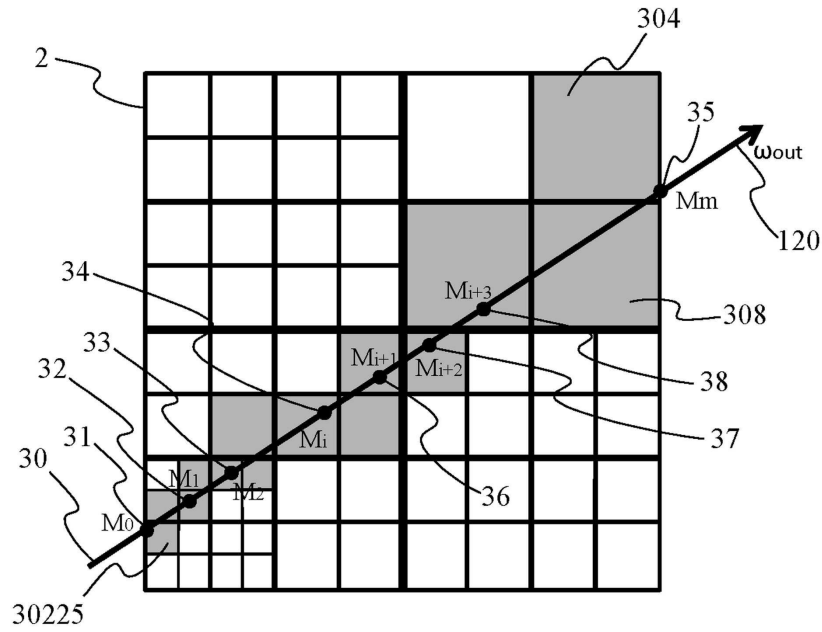
도면3b



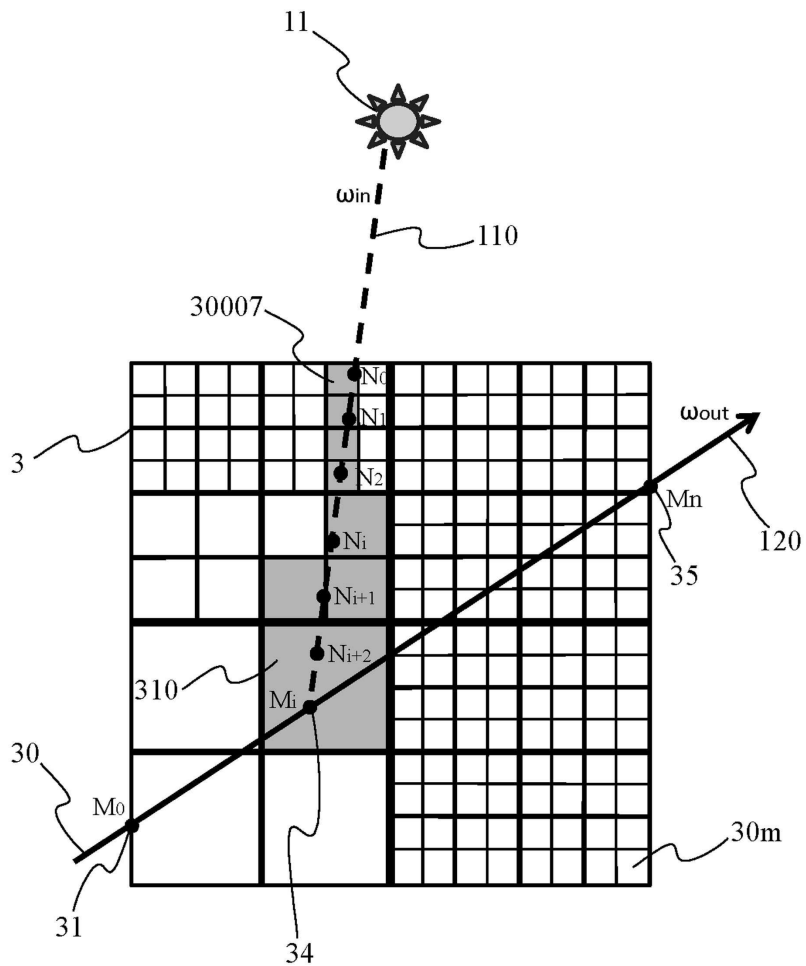
도면4a



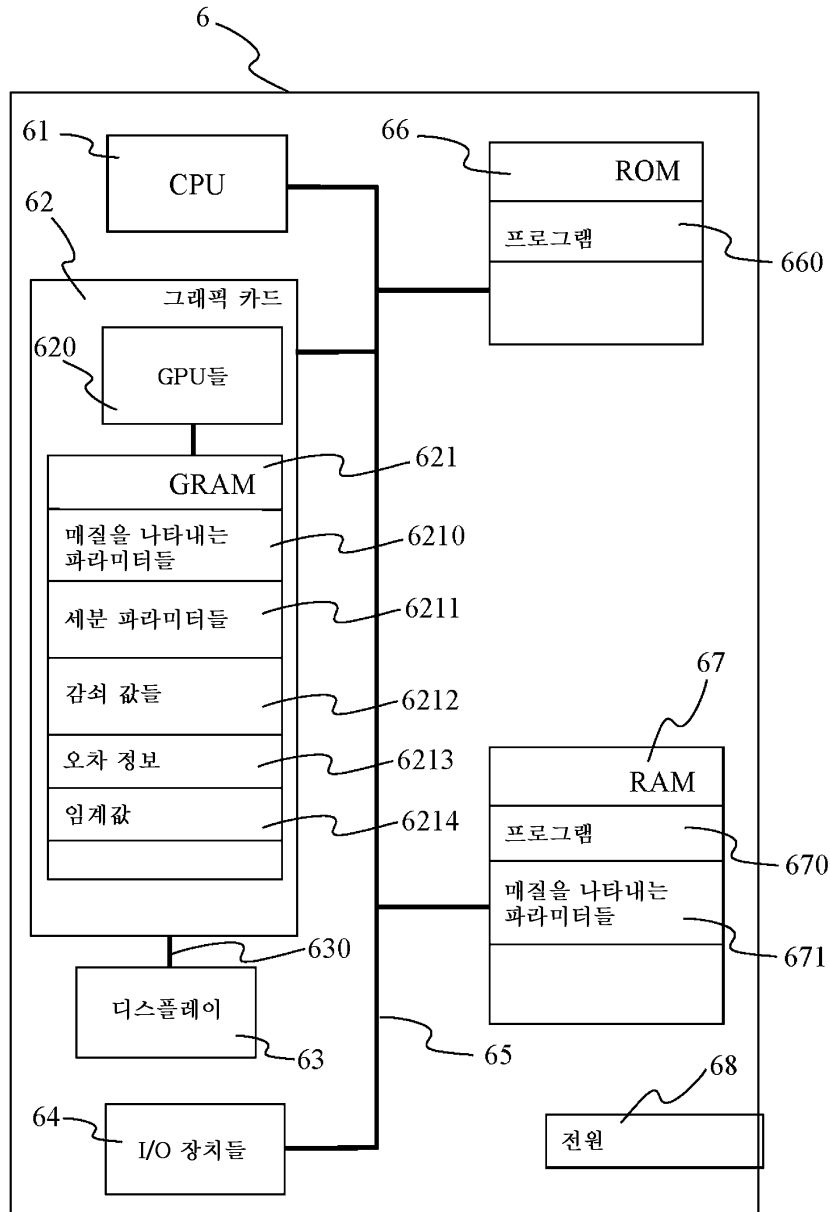
도면4b



도면5



도면6



도면7

