

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5718934号  
(P5718934)

(45) 発行日 平成27年5月13日(2015.5.13)

(24) 登録日 平成27年3月27日(2015.3.27)

(51) Int.Cl.

F 1

<b>G06T 15/80</b>	<b>(2011.01)</b>	<b>G06T</b>	<b>15/80</b>
<b>G06F 19/00</b>	<b>(2011.01)</b>	<b>G06F</b>	<b>19/00</b>
<b>G01N 21/47</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>G01N</b>	<b>21/47</b>

110  
Z

請求項の数 10 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2012-540364 (P2012-540364)  
 (86) (22) 出願日 平成22年11月18日 (2010.11.18)  
 (65) 公表番号 特表2013-511785 (P2013-511785A)  
 (43) 公表日 平成25年4月4日 (2013.4.4)  
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2010/067727  
 (87) 國際公開番号 WO2011/064132  
 (87) 國際公開日 平成23年6月3日 (2011.6.3)  
 審査請求日 平成25年11月18日 (2013.11.18)  
 (31) 優先権主張番号 0958288  
 (32) 優先日 平成21年11月24日 (2009.11.24)  
 (33) 優先権主張国 フランス (FR)

(73) 特許権者 501263810  
 トムソン ライセンシング  
 Thomson Licensing  
 フランス国, 92130 イッシー レ  
 ムーリノー, ル ジヤンヌ ダルク,  
 1-5  
 1-5, rue Jeanne d' A  
 r c, 92130 ISSY LES  
 MOULINEAUX, France  
 (74) 代理人 110001243  
 特許業務法人 谷・阿部特許事務所

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光散乱を推定するための方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

異種成分からなる関与媒質によって散乱された光の量の計算のための方法であって、  
 2つの連続する階層のレベルの間で少なくとも1つの方向にしたがって、前記媒質中の  
 前記光の減衰差を表す誤差情報の少なくとも1つの項目にしたがって空間細分割の複数の  
 階層のレベルの中から前記媒質の空間細分割の少なくとも1つのレベルを選択するステップと、

少なくとも1つの散乱方向に沿った前記媒質のサンプリングによって散乱された前記光  
 の量を計算するステップであって、前記サンプリングは前記少なくとも1つの選択した空  
 間細分割レベルに依存する、前記計算するステップと

を含む、前記方法。

## 【請求項 2】

前記少なくとも1つの散乱方向に沿った位置にある前記媒質の少なくとも1つの点によ  
 つて散乱された前記光の前記減衰を表す少なくとも第1の値を計算するステップを含む、  
 請求項1に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記少なくとも1つの散乱方向に沿った位置にある前記少なくとも1つの点内で前記光  
 の少なくとも1つの放出方向にしたがって少なくとも1つの光源から受け取られる前記光  
 の前記減衰を表す少なくとも第2の値を計算するステップを含む、請求項2に記載の方法  
 。

**【請求項 4】**

誤差情報の前記少なくとも 1 つの項目は、2 つの第 1 の値の比較によって決定され、前記 2 つの第 1 の値は前記媒質の 2 つの連続する階層の空間細分割レベルに対してそれぞれ計算される、請求項 2 に記載の方法。

**【請求項 5】**

誤差情報の前記少なくとも 1 つの項目は、2 つの第 2 の値の比較によって決定され、前記 2 つの第 2 の値は前記媒質の 2 つの連続する階層の空間細分割レベルに対してそれぞれ計算される、請求項 3 に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記誤差情報をしきい値と比較するステップを含む、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の方法。 10

**【請求項 7】**

誤差情報の前記少なくとも 1 つの項目が前記しきい値よりも小さい場合には、選択した前記空間細分割レベルは、最も高い階層の位置の前記レベルに対応する、請求項 6 に記載の方法。

**【請求項 8】**

異種成分からなる関与媒質によって散乱された光の量の計算のために構成された装置であって、

2 つの連続する階層のレベルの間で少なくとも 1 つの方向にしたがって、前記媒質中の前記光の減衰差を表す誤差情報の少なくとも 1 つの項目にしたがって空間細分割の複数の階層のレベルの中から前記媒質の空間細分割の少なくとも 1 つのレベルを選択するための手段と、 20

少なくとも 1 つの散乱方向に沿った前記媒質のサンプリングによって散乱された光の前記量を計算するための手段であって、前記サンプリングは前記少なくとも 1 つの選択した空間細分割レベルに依存する、前記計算するための手段と

を備える、前記装置。

**【請求項 9】**

コンピュータ上で実行されるときに請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の前記方法の各ステップをコンピュータに実行させるためのプログラムコードの命令を備える、プログラム。 30

**【請求項 10】**

コンピュータによって読み取り可能な記憶装置であって、請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の前記方法の各ステップを実行するために前記コンピュータによって実行可能なプログラムコードの命令を記憶する、前記記憶装置。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、シンセシス画像合成 (synthesis image compositio n) の分野に関し、より具体的には、異種成分からなる関与媒質中の光散乱シミュレーションの分野に関する。また本発明は、ライブ (live) 合成のための特別な効果に関する理解される。 40

**【背景技術】****【0002】**

先行技術によれば、例えば、霧、煙、塵または雲などの関与媒質中の光の散乱をシミュレーションするために、様々な方法が存在する。関与媒質は、特にトラジェクトリ (trajectory) および強度を変更する光と相互作用する浮遊状態の粒子から構成される媒質に対応する。

**【0003】**

関与媒質を、2 つのグループ、すなわち、水などの均質な媒質および煙または雲などの異種成分からなる媒質に分類することができる。均質な媒質のケースでは、光源によって 50

送出された光の減衰を解析的に計算することが可能である。事実、それ自体の均質な性質のために、これらの媒質は、媒質の任意の点において一定である光吸収係数または光散乱係数などのパラメータを有する。逆に、光吸収特性および光散乱特性は、異種成分からなる関与媒質中では点ごとに変化する。かかる異種成分からなる媒質中の光の散乱をシミュレーションするために要求される計算は、非常に費用がかかるものであり、異種成分からなる関与媒質によって散乱される光の量を解析的にライブで計算することはしたがって不可能である。それに加えて、媒質によって散乱される光の量を散乱しない媒質は、光の散乱方向、換言すると、人が媒質を見る方向にしたがってやはり変化する。媒質の実際的なディスプレイを得るために、散乱される光の量を推定する計算を、人間による媒質の各観察方向について繰り返さなければならない。

10

#### 【0004】

異種成分からなる関与媒質のライブディスプレイを生成するために、ある方法は、異種成分からなる関与媒質を表すいくつかのパラメータの事前計算を実行する。これらの方法は、例えば、ポストプロダクション (post-production) におけるスタジオ使用のために完璧に適合しており、良い品質のディスプレイをもたらしうるが、ライブ会話型概念の状況および異種成分からなる関与媒質の合成には、これらの方法は適合していない。当業者に良く知られているレイマーチングアルゴリズム法（例えば、非特許文献1に記載されている）などの他の方法は、光の散乱方向および／または透過方向にしたがって異種成分からなる関与媒質をサンプリングするものであり、媒質の多数の点（点の数はサンプリングの精度に依存する）における光の減衰を推定する。かかるサンプリングは、特にサンプリングが非常に細かいときならびに／またはサンプリングした媒質が複雑であるおよび／もしくは広範囲に及ぶときには、計算に非常に費用がかかる。

20

#### 【0005】

対話型シミュレーションゲームおよびアプリケーションの出現で、特に、3次元（3D）では、異種成分からなる関与媒質の実際的なディスプレイを提供するライブシミュレーション方法に対して、必要性が感じられている。

#### 【先行技術文献】

#### 【非特許文献】

#### 【0006】

【非特許文献1】S. Chandrasekhar, "Radiative Transfer Equation", 1960, Dover Publications

30

#### 【発明の概要】

#### 【0007】

本発明の目的は、先行技術のこれらの欠点のうちの少なくとも1つを克服することである。

#### 【0008】

さらに具体的に本発明の目的は、異種成分からなる関与媒質中の光の散乱の実際的なディスプレイを合成するために必要な計算時間を特に最適化することである。

#### 【0009】

本発明は、異種成分からなる関与媒質によって散乱された光の量を推定するための方法に関するし、本方法は、2つの連続する階層のレベルの間で少なくとも1つの方向にしたがって、媒質中の減衰差を表す誤差情報の少なくとも1つの項目にしたがって空間細分割（spatial subdivision）の複数の階層のレベルの中から媒質の空間細分割の少なくとも1つのレベルを選択するステップと、少なくとも1つの散乱方向に沿った前記媒質のサンプリングによって散乱された光の量を推定するステップであって、サンプリングは少なくとも1つの選択した空間細分割レベルに依存する推定するステップとを含む。

40

#### 【0010】

有利には、本方法は前記少なくとも1つの散乱方向に沿った位置にある媒質の少なくとも1つの点によって散乱された光の減衰を表す少なくとも第1の値を推定するステップを

50

含む。

**【0011】**

特定の特徴によれば、本方法は、少なくとも1つの散乱方向に沿った位置にある少なくとも1つの点において光の少なくとも1つの放出方向にしたがって少なくとも1つの光源から受け取った光の減衰を表す少なくとも第2の値を推定するステップを含む。

**【0012】**

都合の良いことに、誤差情報の少なくとも1つの項目は、2つの第1の値の比較によって決定され、2つの第1の値は、媒質の2つの連続する階層の空間細分割レベルに対してそれぞれ推定される。

**【0013】**

もう1つの特徴によれば、誤差情報の少なくとも1つの項目は、2つの第2の値の比較によって決定され、2つの第2の値は、媒質の2つの連続する階層の空間細分割レベルに対してそれぞれ推定される。

**【0014】**

具体的な特徴によれば、本方法は、誤差情報をしきい値と比較するステップを含む。

**【0015】**

都合の良いことに、誤差情報の少なくとも1つの項目がしきい値よりも小さい場合には、選択した空間細分割レベルは、最も高い階層の位置レベルに対応する。

**【図面の簡単な説明】**

**【0016】**

添付した図面を参照して下記の説明を読むと、本発明がより良く理解され、他の具体的な特徴および利点が明らかになりうる。

**【0017】**

**【図1】**本発明の特定の実施形態による、光を散乱する異種成分からなる関与媒質を図式的に示す図である。

**【図2A】**本発明の特定の実施形態による、図1の媒質の空間細分割ツリーを表示する図である。

**【図2B】**本発明の特定の実施形態による、図1の媒質の空間細分割ツリーを表示する図である。

**【図3A】**本発明の特定の実施形態による、光の散乱方向に応じた図1の媒質のいくつかの空間細分割レベルを示す図である。

**【図3B】**本発明の特定の実施形態による、光の散乱方向に応じた図1の媒質のいくつかの空間細分割レベルを示す図である。

**【図4A】**本発明の特定の実施形態による、光の散乱方向に応じた図1の媒質のいくつかの空間細分割レベルを示す図である。

**【図4B】**本発明の特定の実施形態による、光の散乱方向に応じた図1の媒質のいくつかの空間細分割レベルを示す図である。

**【図5】**本発明の特定の実施形態による、光の放出方向に応じた図1の媒質のいくつかの空間細分割レベルを示す図である。

**【図6】**本発明の特定の実施形態による、図1の媒質によって散乱された光の量を推定するための方法を実装している装置を示す図である。

**【図7】**本発明の特定の実施形態による、図1の媒質によって散乱された光の量を推定するための方法を示す図である。

**【発明を実施するための形態】**

**【0018】**

図1は、異種成分からなる関与媒質10、例えば雲を示す。関与媒質は、光を吸収し、放出しおよび/または拡散させる浮遊状態の多数の粒子から構成される媒質である。その最も単純な形体では、関与媒質は、光、例えば太陽などの、例えば光源11から受け取る光だけを吸収する。これは、媒質10を通過する光が減衰することを意味し、減衰は媒質の濃度に依存する。異種成分からなる媒質は、換言すると、例えば媒質を構成する粒子の

10

20

30

40

50

濃度などの媒質の物理的な特性が、媒質中で点ごとに変化する。関与媒質が光と相互作用する小さな粒子から構成されるので、入射光、つまり、1つの方向  $i_{in} 1 1 0$  にしたがって光源  $1 1$  から受け取る光は、吸収されるだけでなく、散乱される。等方的散乱に関与媒質中では、光はすべての方向に一様に散乱される。図1に示した雲  $1 0$  などの、非等方的散乱に関与媒質中では、光散乱は、入射方向  $i_{in} 1 1 0$  と光の散乱方向  $o_{out} 1 2 0$ との間の角度に依存する。散乱方向  $o_{out} 1 2 0$ において媒質  $1 0$  の点  $M 1 3$  のところで散乱される光の量が、次の式によって計算される。

【0019】

$$Q(M, o_{out}) = D(M) \cdot s \cdot p(M, o_{out}, i_{in}) \cdot L_{ri}(M, i_{in})$$

式1

10

方向  $o_{out} 1 2 0$ における空間の点  $C$ のところの位置にいる観察者  $1 2$  の目に到達する媒質の点  $M 1 3$  によって散乱された光の量、換言すると、点  $M$  によって散乱された光の量は、トラジェクトリ  $M - P$  上の媒質  $1 0$  によって減衰し、点  $P$  は、観察者  $1 2$  の方向において媒質  $1 0$  と方向  $o_{out}$ との交点のところの位置にあり、そのときには、

【0020】

【数1】

$$L_P(M, o_{out}) = Q(M, o_{out}) \cdot \exp \int_P^M -D(s) \sigma_t ds$$

式2

【0021】

20

ここでは、

- $s$  は媒質の散乱係数であり、
- $a$  は媒質の吸収係数であり、
- $t = s + a$  は媒質の消衰係数であり、
- $D(M)$  は所与の点のところの媒質の濃度であり、媒質  $1 0$  が異種成分からなるので、濃度は点ごとに変化し、

•  $p(M, o_{out}, i_{in})$  は、入射方向  $i_{in}$  から来る光が点  $M$  のところで散乱方向  $o_{out}$  にどれだけ散乱されるかを記述する位相関数であり、

•  $L_{ri}(M, i_{in})$  は、入射方向  $i_{in} 1 1 0$  から来る点  $M$  のところの減少した光強度であり、線分  $K - M$  上の媒質  $1 0$  中の光のトラジェクトリに起因する減衰後に、点  $M$  のところに達する入射光の量を表し、 $K$  は媒質  $1 0$  と入射レイ  $i_{in} 1 1 0$  との間の交点であり、その値は次式である、

【0022】

【数2】

$$\exp \int_K^M -D(s) \sigma_t ds$$

式3

30

【0023】

【数3】

$$\exp \int_P^M -D(s) \sigma_t ds$$

40

は、 $P 1 5$  から  $M 1 3$  までの経路に沿った吸収および散乱に起因する散乱した光の減衰を表す。

【0024】

式2は、点  $M$  によって散乱され、方向  $o_{out}$  上の位置にいる観察者  $1 2$  の目に到達する光の量を計算することを可能にする。方向  $o_{out}$ において見ている観察者によって受け取られる光の量を計算するために、軸  $o_{out}$  上の位置にある媒質の点のセットのすべての寄与の合計を計算しなければならず、換言すると、点が線分  $P - M_{max}$  上の位置にあり、 $P$  および  $M_{max}$  は媒質  $1 0$  と方向  $o_{out} 1 2 0$ との間の2つの交点である。単純な散乱に起因して方向  $o_{out} 1 2 0$  から  $P 1 5$  のところに達するこの散乱した光の総量は、次式である、

50

【0025】

【数4】

$$L(P, \omega_{out}) = \int_P^{M_{max}} L_p(M, \omega_{out}) dM \quad \text{式4}$$

【0026】

ここでは、トライエクトリC-Pをカバーする光が減衰せず、光が媒質10の外では減衰しないものと考える。

【0027】

この散乱した光の総量は、方向として  $\omega_{out}$  を有するレイ上のPと  $M_{max}$ との間の位置にあるすべての点からの寄与を積分することによって求められる。かかる積分式を、一般的には解析的に解くことができず、散乱した光の量のライブ推定の場合にはなおさらである。レイマーチングとして知られる方法を使用して、積分をデジタル的に算出する。この方法では、積分領域を、区間ごとに濃度が変化するサイズ  $\Delta M$  の複数の区間へと離散化し、次式が得られる、

【0028】

【数5】

$$L(P, \omega_{out}) \approx \sum_p^{M_{max}} L_p(M, \omega_{out}) \delta_M \quad \text{式5}$$

10

20

【0029】

同様に、異種成分からなる関与媒質10中の光源11からの光の減衰が、レイマーチング法の適用によって都合よく計算される。したがって、減衰した後で点Mのところに達する入射光の量を表す点Mのところの光強度の減衰  $Att_L(M)$  は、次の式によって表される、

【0030】

【数6】

$$Att_L(M) = \exp^{\int_K^M -D(s)\sigma_t ds} \quad \text{式6}$$

【0031】

30

レイマーチング法にしたがって点Mのところの光の減衰を推定するために、媒質10中の光レイ110の入力点K14と媒質10の検討する点M13との間で検討する入射方向110上の位置にある積分領域を、サイズ  $\Delta s$  の一連の区間へと離散化する。その上、濃度が、入射方向（また、光放出方向とも呼ばれる）に沿って点ごとに（すなわち、言い換えると、区間ごとに）やはり変化する。下記の式が、したがって得られる、

【0032】

【数7】

$$Att_L(M) \approx \prod_K^M \exp^{-D(s)\sigma_t \delta_s} \quad \text{式7}$$

40

【0033】

都合の良いことに、明確にする理由で図1では2次元で示した異種成分からなる関与媒質10は、3次元要素である。

【0034】

变形形態によれば、媒質10は、複数の光源、例えば、1000個、100,000個または1,000,000個の光源によって照らされ、光源は光環境を形成する。いくつかの遠隔光源からの光の推定を、当業者には知られている環境マッピング法を使用して実行する。環境マッピング法にしたがえば、光環境のすべての光源は、媒質10の点に関して光学的に無限のところの位置にあると考えられる。したがって、媒質の検討するいかな

50

る点であっても、取り上げた方向が同一であると考えることが可能である。媒質の異なる点を分離する距離に起因する視差効果を、したがって無視できる。この変形形態によれば、点Mのところの入射光の減衰を推定するために、光環境を表す入射方向のセットについて式7を用いて光の減衰を計算することが必要であり、これが計算を著しく増加させる。

#### 【0035】

もう1つの変形形態によれば、媒質の散乱係数<sub>s</sub>および/または媒質の吸収係数<sub>a</sub>などの媒質10の物理的な特性は、濃度が変化するように、媒質10中で点ごとにやはり変化する。補足的な変形形態によれば、2つの係数<sub>s</sub>および<sub>a</sub>のうちの一方だけまたは両方が媒質中で変化し、濃度は、媒質中で均質である。

#### 【0036】

図2Aおよび図2Bは、本発明の特定の実施形態にしたがって、表示の2つの異なるモードによる媒質10の空間細分割ツリーを示す。

#### 【0037】

明確化および単純化の理由で、媒質10は、図2A中の正方形または長方形などの単純な2次元の幾何学的形体2(図2Aおよび図2Bの説明では媒質2と呼ばれる)によって表される。媒質2の表面は、同一のサイズのセルへと階層的に細分割されて、「クオッドツリー(quadtree)」タイプの構造を形成する。同じセルに属する媒質2の点は、同一の物理的な特性を有し、例えば、媒質の濃度は、同じセルの媒質2の各点において同じである。物理的な特性は、都合の良いことにセルごとに変化する。変形形態によれば、媒質2のいくつかのセルの物理的な特性は、同一の物理的な特性を有し、媒質2は全体的に異種起源のままであり、換言すると、少なくとも2つのセルが異なる物理的な特性を有する。最も高い階層のレベルが、媒質2の空間細分割の第1のレベル21を形成する単一のセル[1]によって表され、この唯一のセルが媒質2の表面と同じ表面を有する。第1のレベルの直下の階層のレベル(媒質2の空間細分割の第2のレベル22と呼ばれる)は、セル[1]のサイズの4分の1に対応する同一のサイズの4個のセル[2]、[3]、[4]および[5]によって表される。より低い階層のレベルからなり第2のレベル22に続く媒質2の空間細分割の第3のレベル23は、同一のサイズの16個のセル、例えば、セル[6]から[17]によって表される。セル[6]から[17]の各々のサイズは、セル[2]から[5]のサイズの4分の1に対応し、各セル[2]から[5]が、同一のサイズの4個のセルへとそれぞれ分割されている。より低い階層のレベルからなり第3のレベル23に続く媒質2の空間細分割の第4のレベル24は、同一のサイズの64個のセル、例えば、セル[18]から[25]によって表される。セル[18]から[25]の各々のサイズは、セル[6]から[17]のサイズの4分の1に対応し、第3のレベル23の各セル[6]から[17]が、同一のサイズの4個のセルへとそれぞれ分割されている。この構造を一般化して、レベルXより直ぐ低い空間表示のレベルYを形成するために、レベルXのセルの数を4倍してレベルYを形成するセルの数を求めることが、これは意味する。

#### 【0038】

レベルのこの階層が、空間細分割の階層のレベルがツリー構造の形体で現れる図2Bに関してより明確に現れ、セルがツリーのノードを形成する。媒質2の空間細分割の第1のレベル21は、単一のセル[1]を含む。(第1のレベルよりも低い階層の位置の)媒質2の空間細分割の第2のレベル22は、第1のレベルよりも4倍多いセル、すなわち、4個のセル[2]から[5]を含む。(第2のレベルよりも低い階層の位置の)媒質2の空間細分割の第3のレベル23は、第2のレベルよりも4倍多いセル、すなわち、16個のセル[6]から[17]を含む。(第3のレベルよりも低い階層の位置の)媒質2の空間細分割の第4のレベル24は、第3のレベルよりも4倍多いセル、すなわち、64個のセル[18]から[25]を含み、セル[18]から[21]が、例えば第3のレベルのセル[12]の細分割に対応し、セル[22]から[25]が、例えば第3のレベルのセル[15]の細分割に対応する。媒質2の空間表示の第5のレベル(図2Aおよび図2Bには図示せず)は、したがって、第4のレベルよりも4倍多いセルを含むはずであり、媒質

10

20

30

40

50

2 の空間表示の第 6 のレベル（図 2 A および図 2 B には図示せず）は、したがって、第 5 のレベルよりも 4 倍多いセルを含むはずである、等々。

#### 【 0 0 3 9 】

3 次元要素中の異種成分からなる媒質 1 0 に関与するときに、媒質 2 は、それ自体 3 次元要素であり、媒質は、同一の寸法、したがって同一の体積のセルへと階層的に細分割されて、「オクトリー（o c t r e e ）」タイプの構造を形成する。媒質 2 を形成する同一の寸法（および体積）のセルは、都合の良いことに「ボクセル（v o x e l ）」と呼ばれ、「ボクセル」は体積要素に対応する。3 次元媒質 2 のケースでは、空間細分割の第 1 のレベル（最も高い階層の位置）は、体積が媒質 2 の体積に等しい単一の「ボクセル」を含む。第 2 の空間細分割レベルは、同一の寸法（および体積）の 8 個の「ボクセル」を含み、第 3 の空間細分割は、第 2 のレベルに対して 8 倍多い「ボクセル」、すなわち 512 個の体積を含む、等々。同じ「ボクセル」の点は、同一の物理的な特性を有し、換言すると、これらは同じ吸収係数、同じ散乱係数、および同じ濃度を有し、「ボクセル」内の体積は結果として均質である。都合の良いことに、第 1 の「ボクセル」に属する点の物理的な特性は、第 1 の「ボクセル」に隣接する「ボクセル」に属する点の物理的な特性とは異なり、例えば、第 1 の「ボクセル」の点は隣接する「ボクセル」の点とは異なる濃度  $D_1$  を有する。変形形態によれば、媒質 2 の「ボクセル」は、互いに異なる特性を有する。もう 1 つの変形形態によれば、媒質 2 のいくつかの「ボクセル」は、同一の物理的な特性を有する。媒質 2 を構成するいくつかの「ボクセル」が同一の物理的な特性、例えば同一の濃度  $D_1$  を有する場合でさえ、媒質 2 は全体としては異種起源のままである。

10

20

#### 【 0 0 4 0 】

説明の残りの部分では、空間細分割要素が図中では明確化の理由のために 2 次元のセルによって表される場合でさえ、用語「ボクセル」を、媒質 2 の空間細分割要素を明示するために使用する。2 次元要素に関して、セルという用語を、用語「ボクセル」で置き換え、説明した推論を、セルおよび「ボクセル」に同じように適用する。濃度値は、媒質 1 0 を表すために媒質 1 0 のすべての点において、当業者には知られた任意の方法にしたがって、例えば流体力学シミュレーションアプリケーションを使用してまたは媒質 1 0 についての特定のディスプレイの効果を生み出すように誰かが望むことによって、最初に計算され、この濃度値は、ある点の初期濃度と呼ばれる。ある「ボクセル」に属する点に与えられた濃度値が、「ボクセル」を構成する点の各々から以前に計算した初期濃度の平均に対応するようにそれから計算される。例えば、単一の「ボクセル」がある空間細分割の第 1 のレベル（最も高い階層）に関して、「ボクセル」のすべての点に与えられる濃度値は、媒質 2 の初期濃度の平均値に対応する。媒質 2 が 8 個の「ボクセル」へと細分割される第 2 のレベルに関して、点の平均濃度は、「ボクセル」に属する点の初期濃度の平均を使用して計算され、この平均値が検討する「ボクセル」のすべての点に与えられ、操作が 7 個の他の「ボクセル」に対して繰り返される。同じ推論が、媒質 2 の空間細分割の各レベルに対して適用される。

30

#### 【 0 0 4 1 】

「ボクセル」の点の初期濃度の平均を計算して「ボクセル」を形成するすべての点にこの平均値を与えることは、濃度推定誤差を導入することを含み、媒質 2 の空間細分割が粗くなるにつれて、誤差が大きくなる、換言すると、媒質 2 を形成する「ボクセル」の数が小さくなるにつれて、誤差が大きくなる。空間細分割の 2 つの階層的に連続するレベルの間の濃度推定誤差が、例えば、下記の数式を使用して計算される、

40

#### 【 0 0 4 2 】

#### 【 数 8 】

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

#### 【 0 0 4 3 】

50

ここで、 $D_{err}$ は、より低い階層のレベル ( $n + 1$ ) に対して階層のレベル  $n$  の濃度推定誤差を表し、

$D_{n+1,i}$ は、階層のレベル  $n$  の直ぐ下の階層のレベル ( $n + 1$ ) の「ボクセル」 $i$  の点の平均濃度を表し、

$D_n$ は、より低いレベル ( $n + 1$ ) のところで 8 個の「ボクセル」へと分解される空間細分割のレベル  $n$  のノードによって表された「ボクセル」の点の平均濃度を表す。

#### 【0044】

注意として、「ボクセル」を横切る光の減衰は、下記の式によって与えられる、

#### 【0045】

#### 【数9】

$$Att = \exp \int_{x=x_{\min}}^{x=x_{\max}} -\sigma_t D(x) dx \quad \text{式9}$$

10

#### 【0046】

ここで、 $x_{\min}$ および $x_{\max}$ は、空間細分割レベル  $n$  の検討する「ボクセル」と光散乱方向または光放出方向の第 1 の交点および第 2 の交点にそれぞれ対応し、

$D$ は、濃度を表す。

#### 【0047】

例えば、式 8 によって計算される濃度誤差を検討すると、「ボクセル」中の減衰の下限および上限が、推測される、

20

#### 【0048】

#### 【数10】

$$Att_{\min} = \exp \int_{x=x_{\min}}^{x=x_{\max}} -\sigma_t D(x)(1 - D_{err}) dx \quad \text{式10}$$

#### 【0049】

#### 【数11】

$$Att_{\max} = \exp \int_{x=x_{\min}}^{x=x_{\max}} -\sigma_t D(x)(1 + D_{err}) dx \quad \text{式11}$$

30

#### 【0050】

図 3 A、図 3 B、図 4 A および図 4 B は、本発明の特定の実施形態による、光の散乱方向に応じた図 1 の媒質 1 0 のいくつかの空間細分割レベルを示す。図 3 A、図 3 B、図 4 A および図 4 B は、本発明の特定の実施形態による、光の 1 つの散乱方向  $_{out} 1 2 0$  に沿った媒質 2 (単純な幾何学的形体による媒質 1 0 を表している) の空間細分割レベルの選択のための方法をやはり図示する。

#### 【0051】

図 3 A は、例えば、図 2 B に示したレベル 2 4 またはもっと低いレベルに対応する媒質 2 の最も低い空間細分割レベルの 2 次元での表示である。媒質 2 は、 $n$  個の「ボクセル」3 0 0 0 1 から 3 0  $n$  により構成される。光散乱方向  $_{out} 1 2 0$  が横切る「ボクセル」、例えば「ボクセル」3 0 2 2 5 および 3 0 0 6 4 は、図 3 A には影付きで現れる。媒質 2 を横切る光の散乱  $_{out}$  を表す右の部分は、レイマーチングとして知られる方法を使用してこの散乱方向に沿った光の減衰の推定のために、 $m$  個の点のセット  $M_0 3 1$ 、 $M_1 3 2$ 、 $M_2 3 3 \dots M_i 3 4 \dots M_m 3 5$  へとサンプリングされる。

40

#### 【0052】

図 3 B は、図 3 A に示した空間細分割レベルの階層的に直上の空間細分割レベル、例えば図 2 A がレベル 2 4 を表す場合にはレベル 2 3 の 2 次元の表示である。したがって示した媒質 2 は、 $p$  個の「ボクセル」3 0 0 1 から 3 0  $p$  を含み、図 2 B の各「ボクセル」が図 2 A の 8 個の「ボクセル」の併合に対応し、これら 8 個の「ボクセル」は、媒質 2 の空

50

間細分割レベルのツリー構造を表しているオクトリーではこれらの階層的に上方の「ボクセル」に接続される。散乱方向  $\text{out}_{120}$  が横切る「ボクセル」、例えば「ボクセル」 $3049$  および  $3016$  が、やはり影付きで現れる。図 3 A および図 3 B に共通な要素は、同じ参照符号、例えば方向  $\text{out}_{120}$  のサンプリングを形成する  $m$  個の点のセット  $M_0, M_1, M_2, M_3 \dots M_i, \dots M_m$  を有する。

#### 【0053】

散乱された光の量の推定の計算速度 / 精度間の最善の妥協点を形成する空間細分割のレベル、換言すると、散乱された光の量の推定のために引き起こされる誤差がディスプレイの観点から容認可能である（換言すると、例えば、人間の目には見えない）階層的に最も高い空間細分割のレベルを選択するために、点  $M_0, 31$  を介して散乱される光の量を、図 1 に関して説明した方法を使用することによって、換言すると、空間細分割の最も低い階層的なレベルで、つまり、図 2 A に関して説明したレベルで、点  $M_0$  のところの入射光の減衰を計算することによって、最初に推定する。この計算した値は、散乱された光の量の第 1 の基準値を形成する。2 番目に、点  $M_1, 32$  を介して散乱された光の量を、階層的に空間細分割の最も低いレベルで（点  $M_1$  のところの入射光の減衰の計算の後で）同じ方法にしたがって計算する。点  $M_0$  のところで  $M_1$  および  $M_0$  を介して散乱された光の総量を推定するために、 $M_1$  と  $M_0$  との間の光の減衰を、その後この値から計算し、減衰値は、式 6 および式 9 によれば、濃度およびしたがって横切った「ボクセル」に依存する。3 番目に、点  $M_1, 32$  を介して散乱された光の量を、最も低いレベルよりも階層的に直ぐ高い空間細分割のレベル、換言すると、図 2 B に関して表されたレベルで同じ方法にしたがって計算する。次にこの値を使用して、点  $M_0$  のところで  $M_1$  および  $M_0$  を介して散乱された光の総量を推定するために、 $M_1$  と  $M_0$  との間の光の減衰が計算されるが、 $M_0$  と  $M_1$  との間を横切る「ボクセル」が空間細分割の 1 つのレベルから空間細分割の階層的に 2 番目に高いレベルまで同じではないので、この減衰値は 2 番目に計算したものとは異なる。2 つの連続する空間細分割について、点  $M_0$  のところで点  $M_1$  および  $M_0$  を介して散乱された光の総量の値を比較することによって、媒質 2 の代表差にリンクした（換言すると、異なる連続した空間細分割レベルを介した）誤差を表す値が、求められる。誤差を表すこの値を、最終的にしきい値（このしきい値は、例えば人間の目には見えない許容される欠陥の代表値である）と比較する。誤差がしきい値よりも小さい場合には、計算を削減しながら、散乱された光の量の推定のためにほとんど誤差を導入しないので、最も高い空間細分割レベルが選択され、「ボクセル」がより大きなサイズのものであり、濃度がしたがって媒質 2 中では頻繁には変化せず、複雑さが濃度変化に直接的に依存する光の減衰の計算を削減することを、これは意味する。

#### 【0054】

誤差がしきい値よりも大きい場合には、より高い階層のレベルが、例えば人間の目に見える大きすぎる誤差をもたらすことを、これは意味するので、最も低い、換言すると最も多くの「ボクセル」を有する空間細分割レベルが選択されたことを、これは意味する。同じ計算を、その後、次の点  $M_2, 33$  について実行する。点  $M_2$  を介して散乱された光の量を、最も低い空間細分割レベルについて計算し、それから、経路  $M_2, M_0$  上の光減衰を計算して、最も低い空間細分割レベルについて点  $M_0$  のところで  $M_2$  を介して散乱された光の量を推定する。点  $M_0$  のところで  $M_2$  を介して散乱された光の量を比較する基準値は、方向  $120$  上の  $M_2$  から上流の位置にある点、すなわち点  $M_0$  および  $M_1$ 、によって散乱された光の量である。それから、点  $M_0$  のところで  $M_2$  を介して散乱された光の量を、階層の直ぐに高い空間細分割のレベル、すなわち図 2 B に示されたものについて同じ方法で推定する。光のこの量を、最も低い空間細分割レベル、すなわち図 2 A のものについて点  $M_0$  および  $M_1$  を介して散乱された光の量によって構成される基準とその順番になって比較する。空間細分割の 2 つの連続するレベルについて、 $M_2$  を介して散乱された光の量を  $M_0$  および  $M_1$  を介して散乱された光の量と比較することによって、2 つのレベルの各々について推定した減衰差の代表となる推定誤差を決定する。この誤差がしきい値よりも小さい場合には、細分割の最も高いレベルが正しい推定のために十分であることを、これは意味する。そうで

10

20

30

40

50

なければ、この誤差がしきい値よりも大きい場合には、細分割の最も高いレベルが不十分であり、細分割の最も細かいレベル、すなわち2つの階層のうちの最も低いレベルを保存すべきであり、同じ操作を次に点 $M_i 3 4$ について実行する。最も粗い細分割レベルが $M_i$ にとって十分である場合には、 $M_m$ のところまで散乱方向上で $M_i$ の下流の位置にある点のすべてに対して、最も粗い細分割レベルが十分である。実際に、媒質2中へとさらに進むと点を介して散乱された光の減衰が大きくなり、これらの点によって散乱される光の量が少なくなることは、 $M_0$ において散乱される光の総量に対して大きい。したがって、誤差が点 $M_i$ について許容できる場合には、 $M_m$ に向かって下流の位置にある点 $M_{i+1}$ についてはなおさら許容可能である。これは図4Bに示され、点 $M_0$ から $M_2$ に関して、より高い階層のレベルの次の点が選択されるにもかかわらず、最も低い階層のレベルが選択されることが理解できる。 $M_i$ に関して、最も低いレベルの直上の階層のレベルが容認可能な誤差のマージンで散乱される光の量の推定値を求めるために十分である場合には、問われる質問は、2番目に高い階層のレベルが、それ自体やはり十分であるどうかである。これが図4Aに示されている。点 $M_i 3 4$ 、それから $M_{i+1} 3 6$ 、それから $M_{i+2} 3 7$ 、それから $M_{i+3} 3 8$ に関して、図3Bに表された細分割のレベルについて点 $M_0$ に考えられる点を介して散乱された光の量を、これらの点のために選択した細分割のレベルを有する上流の位置にある点を介して散乱される光の量に対して比較する。それから、これらの同じ点に対して、次々に、細分割の連続するより高いレベル、例えば（レベル23が図2Bに表されている場合に）レベル22について、点 $M_0$ までこれらの点を介して散乱される光の量を、上流の点を介して点 $M_0$ のところで散乱された光の量を表している同じ基準値とそれ自身やはり比較する。2つの連続するレベル間の光の減衰差を表す誤差情報の項目を、これから推測する。この誤差がしきい値よりも大きい点について、2つのうちの最も高い細分割レベルが散乱された光の量の正しい推定のためには不十分であることを、これは意味する。ある点に関して、この誤差がしきい値よりも小さいときには、この点のところで最も高い細分割レベルが十分であり、光の減衰の推定のために必要な電力および／または計算時間の観点から費用がかからないとしてこのレベルが選択され、点ごとの濃度変化が階層的により低い細分割レベルに対するものよりも少ない。この最後の点に続く点（換言すると、誤差がしきい値よりも小さい最初の点）に関して、細分割の最も高いレベルが、やはり十分であり、細分割の階層的により高いレベルがやはり十分であるかを見出すために、および方向 $out 1 2 0$ における媒質2の限界のところの点 $M_m 3 5$ のところにこれが達するまで、疑問がそのときには提示される。

#### 【0055】

このようにして、 $M_m 3 5$ に向かって進んでいる方向 $out 1 2 0$ に沿って媒質2中へとさらに進むので、空間細分割のレベルが階層的により高くなる図4Bの表示に達する。必要とされる計算能力と散乱方向に沿って散乱された光の量の推定値の品質との間の最善の妥協点がこのようにして見出される。

#### 【0056】

図5は、本発明の一実施形態による、入射光の方向 $in 1 1 0$ に沿った空間細分割のいくつかのレベルを有する異種成分からなる関与媒質10の代表である媒質2を示す。図3A、図3B、図4Aおよび図4Bに関して説明してきたように、散乱方向（やはり観察方向として知られる） $out 1 2 0$ に沿って媒質2を介して放出された光の量が、レイマーチングとして知られる方法を使用して理解される。散乱方向 $out 1 2 0$ の点、例えば点 $M_i 3 4$ を介して散乱された光の量を計算するために、この点 $M_i 3 4$ のところの入射光の減衰を、最初に推定しなければならない。点 $M_i$ のところの入射光の減衰の推定を、レイマーチング法を使用してやはり実行し、図3A、図3B、図4Aおよび図4Bに関して説明したものと同じ推論を適用して、入射光方向 $in 1 1 0$ に沿った最適な空間細分割レベルを選択する。最初に、空間細分割の最も細かいレベル、換言すると、階層的に最も低いレベルを、方向 $in 1 1 0$ に沿って媒質2に適用し、方向 $in 1 1 0$ に沿った点 $M_i$ のところの光減衰を、図1に関して説明したようにレイマーチング法を使用して推定する。この減衰値は、第1の基準値を表す。それから、点 $N_0$ のところの光減衰を、空間細分割の

10

20

30

40

50

階層的に最も低いレベルについて、それから、最も低いレベルの直ぐ上のレベルについて推定する。これらの値を、基準値と比較する、換言すると、これらの値が点  $M_i$  のところの全減衰の中で表す部分を抽出し、点  $N_0$  のところの減衰推定誤差を推測する。この誤差が第2のしきい値よりも小さい場合には、2つのうちの空間細分割の最も高いレベル（換言すると、最も少ない「ボクセル」を有するレベル）が、光減衰の良い品質推定のために十分であると考えられる。この誤差が第2のしきい値よりも大きい場合には、空間細分割の最も高いレベルが近すぎる点  $N_0$  のところの減衰の推定値をもたらすので、空間細分割の最も高いレベルは選択されない。空間細分割の最も高いレベルが、より細かな空間細分割について行った推定と比較したときに第2のしきい値よりも、この点のところの減衰（またはより具体的に、点  $M_i$  のところの全減衰に対するこの点のところの減衰部分）においてより小さな推定誤差をもたらすので、2つのうちの空間細分割の最も高いレベルが十分である点  $N_i$  のところに達するまで、同じ操作を、点  $N_1$  に関して、それから  $N_2$ 、それから  $N_i$  について引き続いて実行する。点  $N_0$  から  $N_2$  に関して、最も低いレベルの空間細分割を選択し、 $M_i$  まで点  $N_i$  以降について、空間細分割のオクトリー表示のバックアップを行う階層的に連続する空間細分割の2つのレベルについて、入射光の減衰を再び推定して、空間細分割のどのレベルが、必要とされる計算の削減と第2のしきい値と比較して入射光減衰の推定値の正確さとの間の最善の妥協点を提供するかを決定する。最後に、最も細かい空間細分割レベルが入射方向  $N_0$  から  $N_2$  の第1の点に対して適用される瞬間が到来し、それから、階層の観点から最も低いレベルの直ぐ上の空間細分割の第2のレベルを、続く点、すなわち  $N_i$  および  $N_{i+1}$  に対して適用し、それから、第2のレベルの直ぐ上の空間細分割の第3のレベルを、点  $M_i$  まで点  $N_{i+1}$  に続く点に対して適用する。  
10

#### 【0057】

入射光の方向  $i_{in} 110$  に沿った空間細分割のいくつかの層の選択は、計算を最小にし、かつ入射レイ  $i_{in} 110$  が横切る「ボクセル」の数を最適に削減しながら（これは濃度が変化する点の数を削減することと同じであり、計算の複雑さは、点ごとの濃度変化に直接リンクする）、例えば第3のしきい値よりも小さな最小の誤差で点  $M_i$  のところの光の全減衰の推定値を保存するという利点を提供する。

#### 【0058】

都合の良いことに、媒質2は、1個よりも多くの光源11によって照らされる。散乱方向  $o_{out} 120$  の各点  $M_i$  は、したがって、いくつかの入射レイを受け取り、点  $M_i$  によって受け取られた光の量は、受け取られた基本の入射光の（換言すると、入射光の各レイについての）量の総和に対応する。点  $M_i$  のところの光の減衰を計算するために、上に説明した操作を入射光の各方向について繰り返す。  
30

#### 【0059】

図6は、異種成分からなる関与媒質10によって散乱された光の量の推定のために適合し、1つまたはいくつかの画像のディスプレイ信号の生成のところの装置6のハードウェア実施形態を図式的に示す。装置6は、例えばパーソナルコンピュータPC、ラップトップまたはゲーム機に対応する。

#### 【0060】

装置6は、クロック信号もまた搬送し、アドレスおよびデータのバス65によって互いに接続された下記の構成要素を含む。  
40

#### 【0061】

- マイクロプロセッサ61（またはCPU）、
- 下記を含むグラフィックスカード62、
  - ・いくつかのグラフィコルプロセッサユニット（Graphicole Processor Unit）（すなわちGPU）620、
  - ・グラフィカルランダムアクセスメモリ（GRAM）621、
  - ROM（リードオンリーメモリ）タイプの不揮発性メモリ66、
  - ランダムアクセスメモリすなわちRAM67、
  - 例えば、キーボード、マウス、ウェブカメラなどの1つまたはいくつかのI/O（入

力 / 出力 ) 装置 6 4 、および

- 電源 6 8 。

#### 【 0 0 6 2 】

装置 6 は、グラフィックスカード 6 2 に直接接続されたディスプレイ画面タイプのディスプレイ装置 6 3 をやはり含み、例えばライブである、計算され、グラフィックスカード中で合成された、特に合成した画像のディスプレイを表示する。ディスプレイ装置 6 3 をグラフィックスカード 6 2 に接続する専用のバスの使用は、はるかに大きなデータ伝送ビットレートを有し、したがってグラフィックスカードによって合成された画像を表示するための待ち時間を短縮するという利点を提供する。変形形態によれば、ディスプレイ装置は、装置 6 に対して外部にあり、ディスプレイ信号を伝送するケーブルによって装置 6 に接続される。装置 6 、例えばグラフィックスカード 6 2 は、例えば L C D もしくはプラズマ画面またはビデオプロジェクタなどの外部ディスプレイ手段へディスプレイ信号を伝送するように適合した伝送または接続用の手段 ( 図 6 には図示せず ) を含む。10

#### 【 0 0 6 3 】

メモリ 6 2 、 6 6 および 6 7 の説明において使用する語「レジスタ」が、述べたメモリの各々で、低容量のメモリゾーン ( いくつかのバイナリデータ ) ならびに大容量のメモリゾーン ( 全体のプログラムを記憶すること、または計算したデータを表すデータのすべてもしくは一部分を表示することを可能にする ) の両方で指定することに、留意する。

#### 【 0 0 6 4 】

スイッチを入れると、マイクロプロセッサ 6 1 は、 R A M 6 7 中に含まれたプログラムの命令をロードし、実行する。20

#### 【 0 0 6 5 】

ランダムアクセスメモリ 6 7 は、下記を特に含む、

- レジスタ 6 7 0 中では、装置 6 のスイッチを入れることに責任があるマイクロプロセッサ 6 1 のオペレーティングプログラム、
- 異種成分からなる関与媒質 1 0 を表すパラメータ 6 7 1 ( 例えば、濃度の、光吸収係数の、光散乱係数のパラメータ ) 。

#### 【 0 0 6 6 】

本発明に特有な方法のステップであり、以降に説明するステップを実施するアルゴリズムを、これらのステップを実施する装置 6 に付随するグラフィックスカード 6 2 のメモリ G R A M 6 7 中に記憶する。スイッチを入れ、媒質を表すパラメータ 6 7 0 が一旦 R A M 6 7 中へとロードされると、グラフィックスカード 6 2 のグラフィックプロセッサ 6 2 0 は、これらのパラメータを G R A M 6 2 1 中へとロードし、例えば、 H L S L ( H i g h L e v e l S h a d e r L a n g u a g e ) 言語または G L S L ( O p e n G L S h a d i n g L a n g u a g e ) を使用する「シェーダ ( s h a d e r ) 」タイプのマイクロプログラムの形式でこれらのアルゴリズムの命令を実行する。30

#### 【 0 0 6 7 】

ランダムアクセスメモリ G R A M 6 2 1 は、特に下記を含む、

- レジスタ 6 2 1 0 中には、媒質 1 0 を表すパラメータ、
- 媒質 2 の異なる空間細分割レベルを表す空間細分割パラメータ 6 2 1 1 、
- 媒質 2 、 1 0 の点のセットについての光強度減衰値 6 2 1 2 、
- 2 つの連続する階層の空間細分割レベル間の光減衰差を表す誤差情報の項目 6 2 1 3 、および
- 1 つまたはいくつかのしきい値 6 2 1 4 。

#### 【 0 0 6 8 】

変形形態によれば、 G R A M 6 2 1 中の利用可能なメモリ記憶空間が不十分である場合には、パラメータ 6 2 1 1 、値 6 2 1 2 および 6 2 1 4 、ならびに誤差情報の項目 6 2 1 3 の記憶のために、 R A M 6 7 の一部が C P U 6 1 によって割り当てられる。この変形形態は、しかしながら、 G P U から G R A M へおよびその逆のデータの伝送にためにグラフィックスカード中で利用可能な伝送能力に対して伝送能力が一般的に劣るバス 6 5 を通過50

することによって、データを、グラフィックスカードからランダムアクセスメモリ 67へと伝送しなければならないので、G P U 中に含まれるマイクロプログラムから合成する媒質 2、10 の代表値を含む画像の合成においてより大きな待ち時間を生じさせる。

#### 【 0 0 6 9 】

もう 1 つの変形形態によれば、電源 68 が、装置 6 の外部にある。

#### 【 0 0 7 0 】

図 7 は、本発明の第 2 の非限定的な特に有利な実施形態による、装置 6 中に実装された異種成分からなる関与媒質 10 によって散乱された光の量を推定するための方法を示す。

#### 【 0 0 7 1 】

開始ステップ 70 の間に、装置 6 の様々なパラメータを更新する。特に、異種成分からなる関与媒質 10 を表すパラメータを、任意の方法で初期化する。 10

#### 【 0 0 7 2 】

それから、ステップ 71 の間に、媒質 10 を表す媒質 2 の 1 つまたはいくつかの空間細分割レベルを、1 つもしくはいくつかの散乱方向  $\text{out}_{120}$  (観察方向とも呼ばれる) に沿っておよび / または 1 つもしくはいくつかの入射光方向 (光放出方向とも呼ばれる) 20

$\text{in}_{110}$  に沿って選択する。このまたはこれらの (1 つまたは複数の) 細分割レベルを、2 つの階層的に連続する空間細分割レベル間で媒質 2 中の光の減衰の差を表す情報の 1 つまたはいくつかの項目にしたがって、オクトリー (または 2 次元媒質 2 に対してクォータナリ (quaternary) ツリー) 中に階層的に順序付けられた複数の空間細分割方向 21 から 24 の中から選択する。1 つの光散乱方向  $\text{out}_{\text{t}}$  に沿って、媒質 2 と方向

$\text{out}_{\text{t}}$  との交点を介して散乱される光の減衰を表す値を、媒質 2 の最も低い階層の空間細分割レベル (換言すると、媒質の最も細かい表示レベル、つまり最も多くの数の「ボクセル」を含むレベル) について推定し、この値は基準値として働く。それから、その方向の点のセット (点のこのセットはレイマーチング法の適用のために実行した散乱方向のサンプリングに対応する) のうちの第 1 の点を介して散乱された光の減衰を表す第 1 の値を、最も低い空間細分割レベルについて推定する。それから、同じ第 1 の点に対して、散乱された光の減衰を表す値のもう 1 つの推定値を、最も低いレベルの階層的に直ぐ上の空間細分割レベルについて推定する。これら 2 つの第 1 の値を基準値と比較して、媒質と方向 30

$\text{out}_{\text{t}}$  の交点のところの全減衰の中でこの第 1 の点の光の減衰の (これら 2 つの第 1 の値の各々の) 部分を決定する。散乱された光の全減衰の中のこれら 2 つの部分を比較すること

によって、散乱された光の減衰の計算において最も高い空間細分割レベル (より少ない「ボクセル」を含むので 2 つのうちの最も粗いもの) を介して引き起こされた誤差を表す誤差情報の項目を推測することが、したがって可能である。この誤差にしたがって、第 1 の点についての適合した空間細分割レベル、換言すると、例えば、人間の目には見えない許容可能な誤差を引き起こすもの、を選択する。これらの操作を、観察の方向に媒質 2 中へと進む散乱方向の各サンプリング点について点ごとに繰り返す。所与の点に対して、2 つの空間細分割のうちの最も高いレベルが十分である場合には、そのレベルが続く点のすべてに対して十分であると判断する。この所与の点から、最も低いレベルの直ぐ上のレベル 40

に対しておよびこの後者の直ぐ上のレベルについて減衰を推定し、最も高いレベルによって引き起こされるであろう誤差を推定する。これらの操作を、媒質 2 の終端限に達するまで観察方向  $\text{out}_{\text{t}}$  のすべてのサンプリング点について繰り返す。いくつかの空間細分割層を、媒質 2 を介した光散乱方向に沿って都合の良いように選択する。同じ推測を、光源から受け取った光の減衰を表す第 2 の値を 2 つの階層的に連続する細分割レベルについて推定する入射光方向のサンプリング点に対して適用して、引き起こされる誤差が容認可能であると判断される入射光方向に沿った空間細分割レベルを選択する。

#### 【 0 0 7 3 】

変形形態によれば、図 7 には示していない比較ステップの間に、散乱された光の 2 つの第 1 の減衰値が計算される 2 つの階層的に連続する空間細分割レベルのうちの一方または他方を選択するために、散乱方向のサンプリング点を介して散乱された光を表す第 1 の値の比較によりもたらされる第 1 の誤差情報と呼ばれる誤差情報を、第 1 のしきい値と比較 50

する。誤差情報の第1の項目が第1のしきい値よりも小さい場合には、第1の階層的に最も高い空間細分割レベルが選択され、これは、計算コストがより低いレベル（より低いレベルは媒質中により多くの「ボクセル」を有し、したがって媒質2の物理的な特性の、特に濃度のより大きな変動を有する）に対して発生するコストより少ないままで、最も高いレベルが、光減衰の推定の際に容認可能な誤差を結果としてもたらすことを示す。第1の誤差情報が第1のしきい値よりも大きい場合には、空間細分割の最も低い階層のレベルが選択され、これは、最も高いレベルが、光の減衰の推定の際に、例えば人間の目に見える容認できない誤差を結果としてもたらすことを示す。

#### 【0074】

もう1つの変形形態によれば、図7には示していない比較ステップの間に、散乱した光の2つの第2の減衰値が計算される2つの階層的に連続した空間細分割レベルのうちの一方または他方を選択するために、入射光方向のサンプリング点のところで光源から受け取った光の減衰を表す第2の値の比較によりもたらされる第2の誤差情報と呼ばれる誤差情報を、第2のしきい値と比較する。誤差情報の第2の項目が第2のしきい値よりも小さい場合には、階層的に最も高い空間細分割レベルが選択され、これは、計算コストがより低いレベル（より低いレベルは媒質中により多くの「ボクセル」を有し、したがって媒質2の物理的な特性の、特に濃度のより大きな変動を有する）に対して発生するコストより少ないままで、最も高いレベルが、受け取った光減衰の推定の際に容認可能な誤差を結果としてもたらすことを示す。第2の誤差情報が第2のしきい値よりも大きい場合には、空間細分割の最も低い階層のレベルが選択され、これは、最も高いレベルが、受け取った光の減衰の推定の際に、例えば人間の目に見える容認できない誤差を結果としてもたらすことを示す。10

#### 【0075】

都合の良いことに、誤差情報の第1の項目および第2の項目は、異なる値を有する。変形形態によれば、誤差情報の第1の項目および第2の項目は、同じ値のものである。もう1つの変形形態によれば、誤差情報の第1の項目（それぞれ第2の項目）は、比較される空間細分割レベルにしたがって値を変える。20

#### 【0076】

それからステップ72の間に、媒質2を介して散乱された光の量を、あるサンプリング方法、都合の良いことにレイマーチング法を使用して推定する。都合の良いことに、散乱方向に沿った「ボクセル」ごとにサンプリング点があるように、サンプリングを選択する。変形形態によれば、細分割レベルが細かいときにより細かくなり、細分割レベルが階層的に上昇するにつれてより粗くなるような方法で、サンプリングを選択する。もう1つの変形形態によれば、サンプリングは規則的であり、換言すると、サンプリング点が規則的に間隔を空けて配置される。この最後の変形形態は、それに加えて、濃度が同じ「ボクセル」の点ごとに変化しないので計算の観点からそれほどコストがかかることはない。30

#### 【0077】

ステップ71および72は、観察者12が媒質10の周りを移動するにつれて都合の良いことに繰り返され、画像が媒質10のディスプレイを形成し、媒質10の周りの観察者12の各要素の変位に対して再合成される。変形形態によれば、媒質環境の条件が変化するとき、特に（1つまたは複数の）光源が変化するときに、ステップ71および72を繰り返す。40

#### 【0078】

当然ながら、本発明は、これまでに説明した実施形態に限定されない。

#### 【0079】

特に、本発明は、異種成分からなる関与媒質によって散乱される光の量を推定するための方法に限定されないだけでなく、本方法を実装する任意の装置、特に少なくとも1つのGPUを含む任意の装置にやはり拡張される。散乱された光の量の入射方向および放出方向の光強度の低下の推定のために、図1から図5に関連して説明した式の実装が、シェーダタイプのマイクロプログラムにやはり限定されないだけでなく、任意のプログラムタイ50

プ、例えばC P Uタイプのマイクロプロセッサ中で実行することが可能なプログラム中に実装するように拡張される。

#### 【0080】

本発明の使用は、ライブ利用に限定されないだけでなく、例えば、シンセシス画像のディスプレイ用の、例えばレコーディングスタジオにおけるポストプロダクション処理として知られる処理のための任意の別の利用に拡張される。ポストプロダクションにおける本発明の実施は、特に、必要な計算時間を削減しつつ、現実性の観点から優れた視覚ディスプレイを実現するという利点を提供する。

#### 【0081】

本発明は、異種成分からなる関与媒質によって散乱される光の量を計算する2次元または3次元のビデオ画像、および結果が画像のピクセル（各ピクセルが観察方向<sub>out</sub>にしたがって観察方向に対応する）を表示するために使用する光を表す情報の合成のための方法にやはり関係する。画像のピクセルの各々による表示のために計算した光の値を、観察者の様々な観察点に適合するように再計算する。

10

#### 【0082】

本発明は、関与する異種成分からなる媒質を表す1つまたはいくつかの空間細分割レベルを選択するための方法にやはり関係する。

#### 【0083】

本発明をビデオゲームアプリケーションにおいて、例えば、P Cもしくは携帯型コンピュータにおいて、またはライブで画像を生成し表示する専門化したゲーム機において実行することができるプログラムを介してであろうとなかろうと、使用することができる。図6に関して説明した装置6は、キーボードおよび／またはジョイスティックなどの対話手段、やはり可能である例えば音声認識などの命令の導入のための別のモードを都合の良いことに装備する。

20

#### （付記1）

異種成分からなる関与媒質によって散乱された光の量の推定のための方法であって、2つの連続する階層のレベルの間で少なくとも1つの方向にしたがって、前記媒質中の前記光の減衰差を表す誤差情報の少なくとも1つの項目にしたがって空間細分割の複数の階層のレベルの中から前記媒質の空間細分割の少なくとも1つのレベルを選択するステップと、

30

少なくとも1つの散乱方向に沿った前記媒質のサンプリングによって散乱された前記光の量を推定するステップであって、前記サンプリングは前記少なくとも1つの選択した空間細分割レベルに依存する推定するステップと  
を含むことを特徴とする方法。

#### （付記2）

前記少なくとも1つの散乱方向に沿った位置にある前記媒質の少なくとも1つの点によって散乱された前記光の減衰を表す少なくとも第1の値を推定するステップを含むことを特徴とする付記1に記載の方法。

#### （付記3）

前記少なくとも1つの散乱方向に沿った位置にある前記少なくとも1つの点内で前記光の少なくとも1つの放出方向にしたがって少なくとも1つの光源から受け取った前記光の前記減衰を表す少なくとも第2の値を推定するステップを含むことを特徴とする付記2に記載の方法。

40

#### （付記4）

誤差情報の前記少なくとも1つの項目は、2つの第1の値の比較によって決定され、前記2つの第1の値は前記媒質の2つの連続する階層の空間細分割レベルに対してそれぞれ推定されることを特徴とする付記2に記載の方法。

#### （付記5）

誤差情報の前記少なくとも1つの項目は、2つの第2の値の比較によって決定され、前記2つの第2の値は前記媒質の2つの連続する階層の空間細分割レベルに対してそれぞれ

50

推定されることを特徴とする付記 3 に記載の方法。

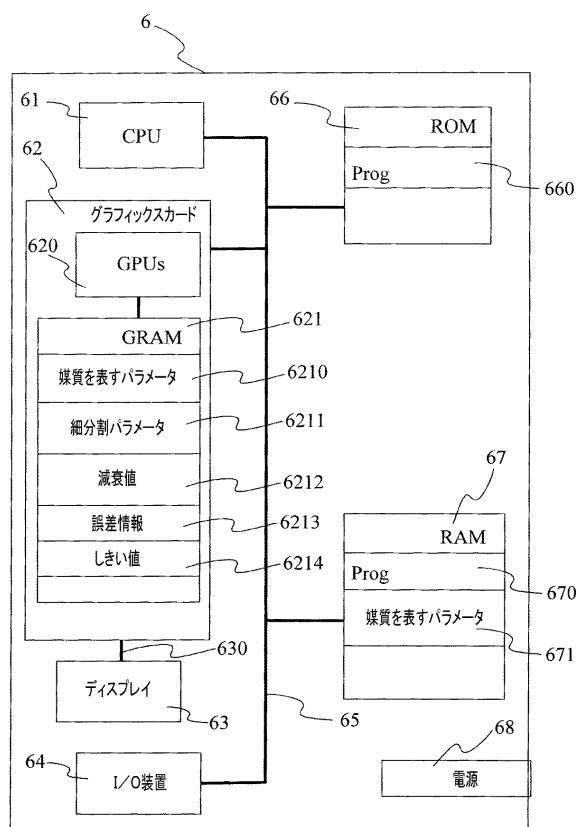
(付記 6 )

前記誤差情報をしきい値と比較するステップを含むことを特徴とする付記 1 から 5 のいずれか一項に記載の方法。

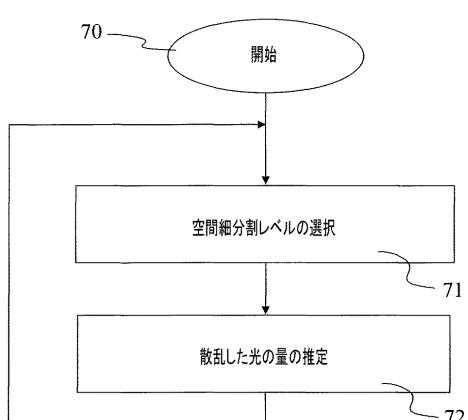
(付記 7 )

誤差情報の前記少なくとも 1 つの項目が前記しきい値よりも小さい場合には、選択した前記空間細分割レベルは、最も高い階層の位置の前記レベルに対応することを特徴とする付記 6 に記載の方法。

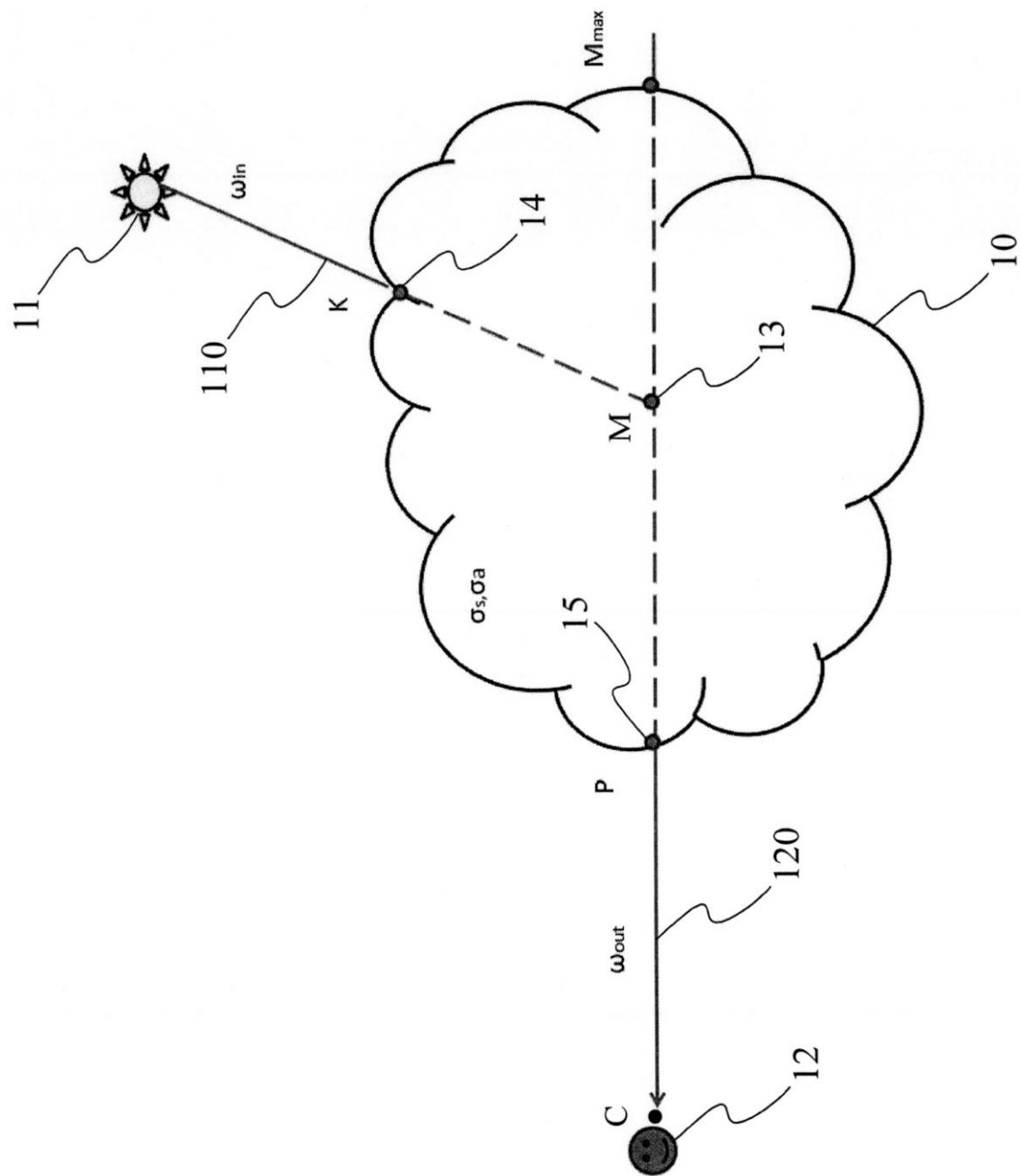
【図 6】



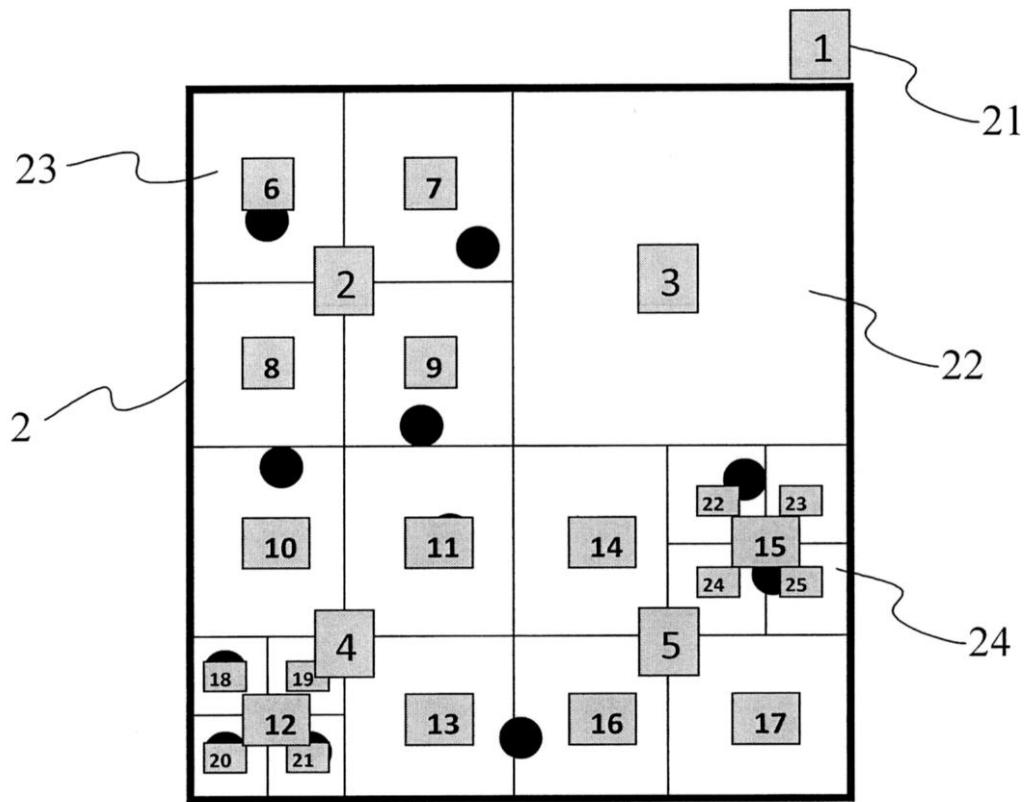
【図 7】



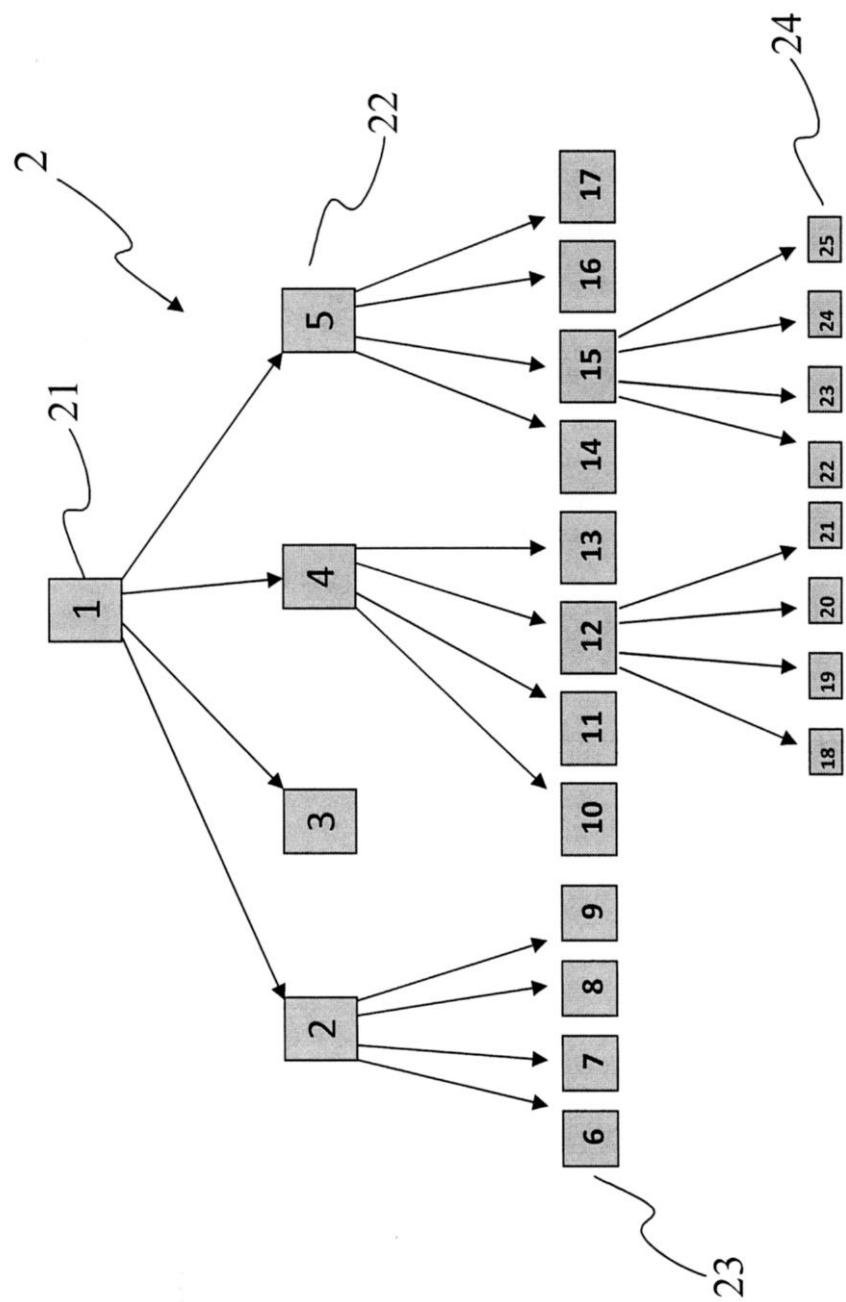
【図1】



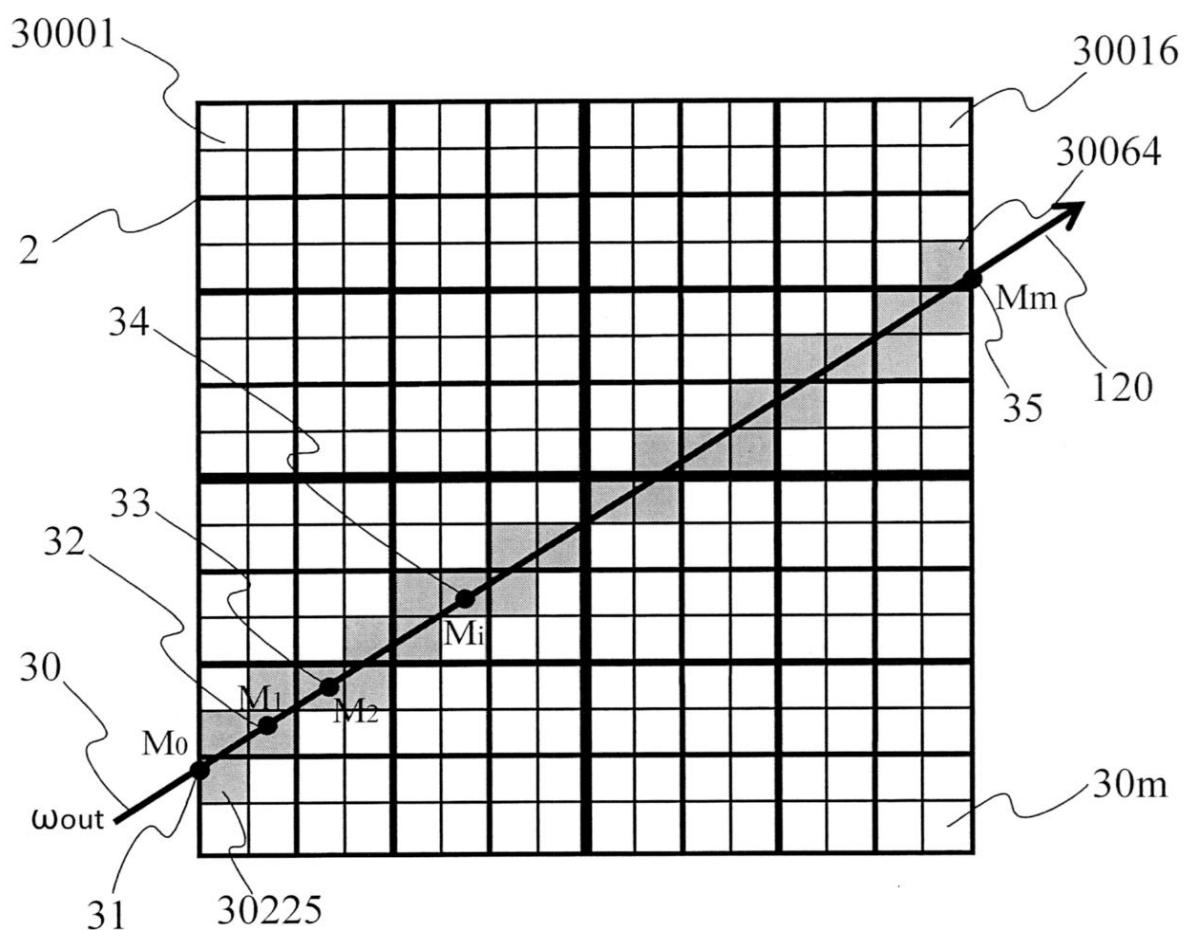
【図2A】



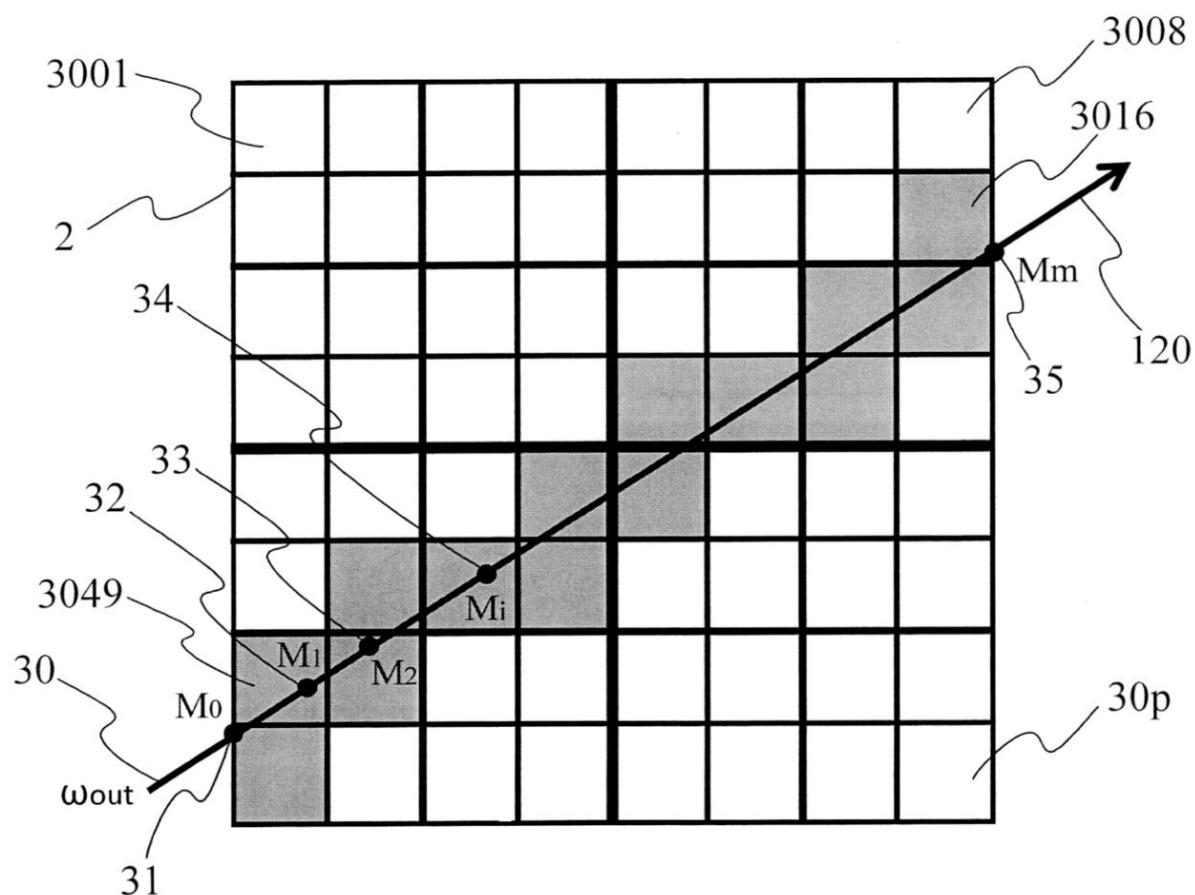
【図2B】



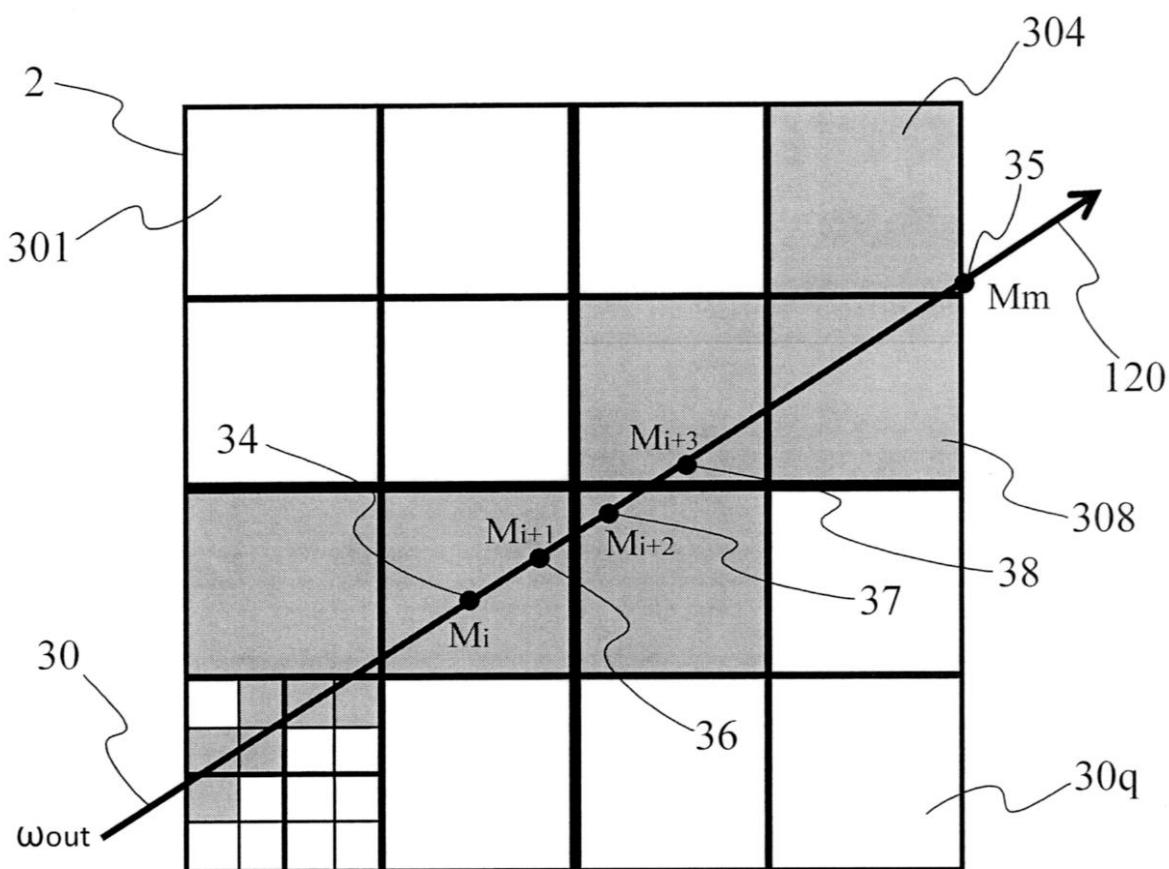
【図3A】



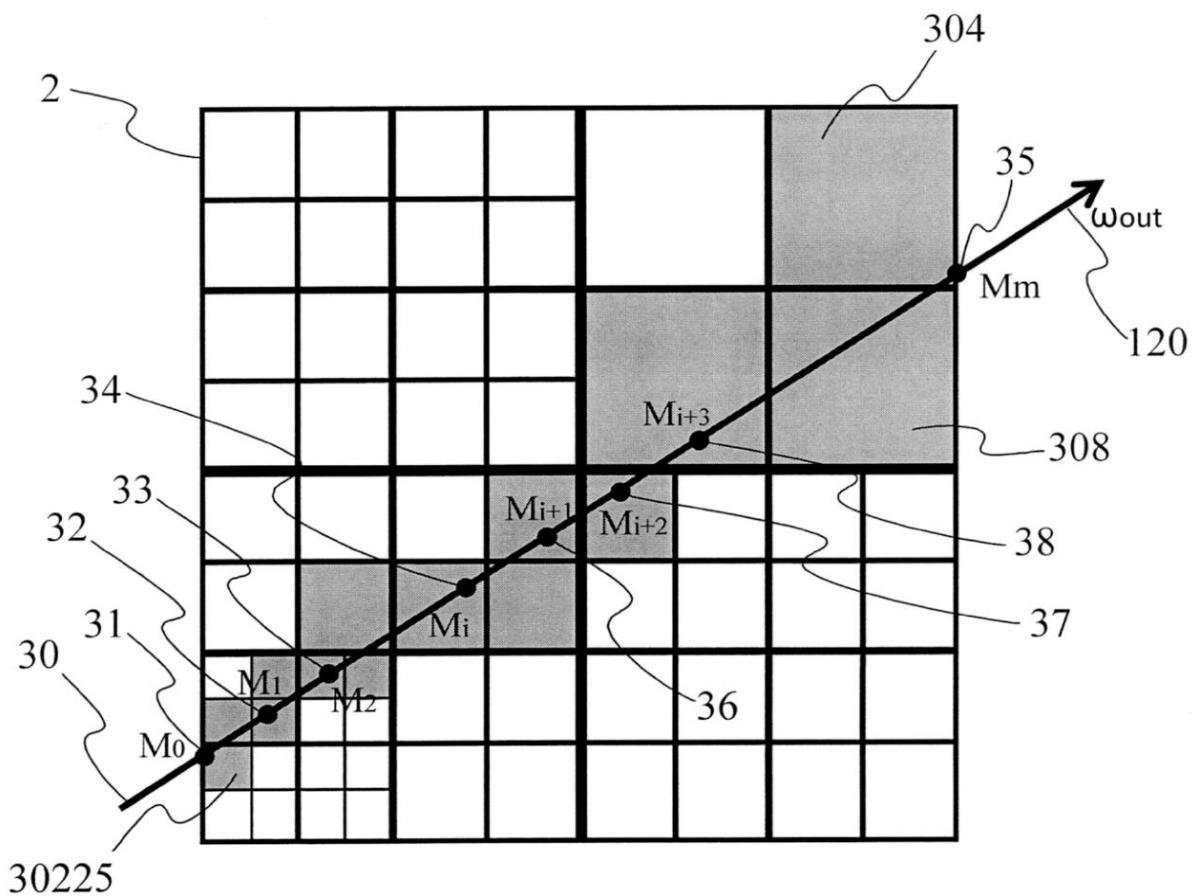
【図3B】



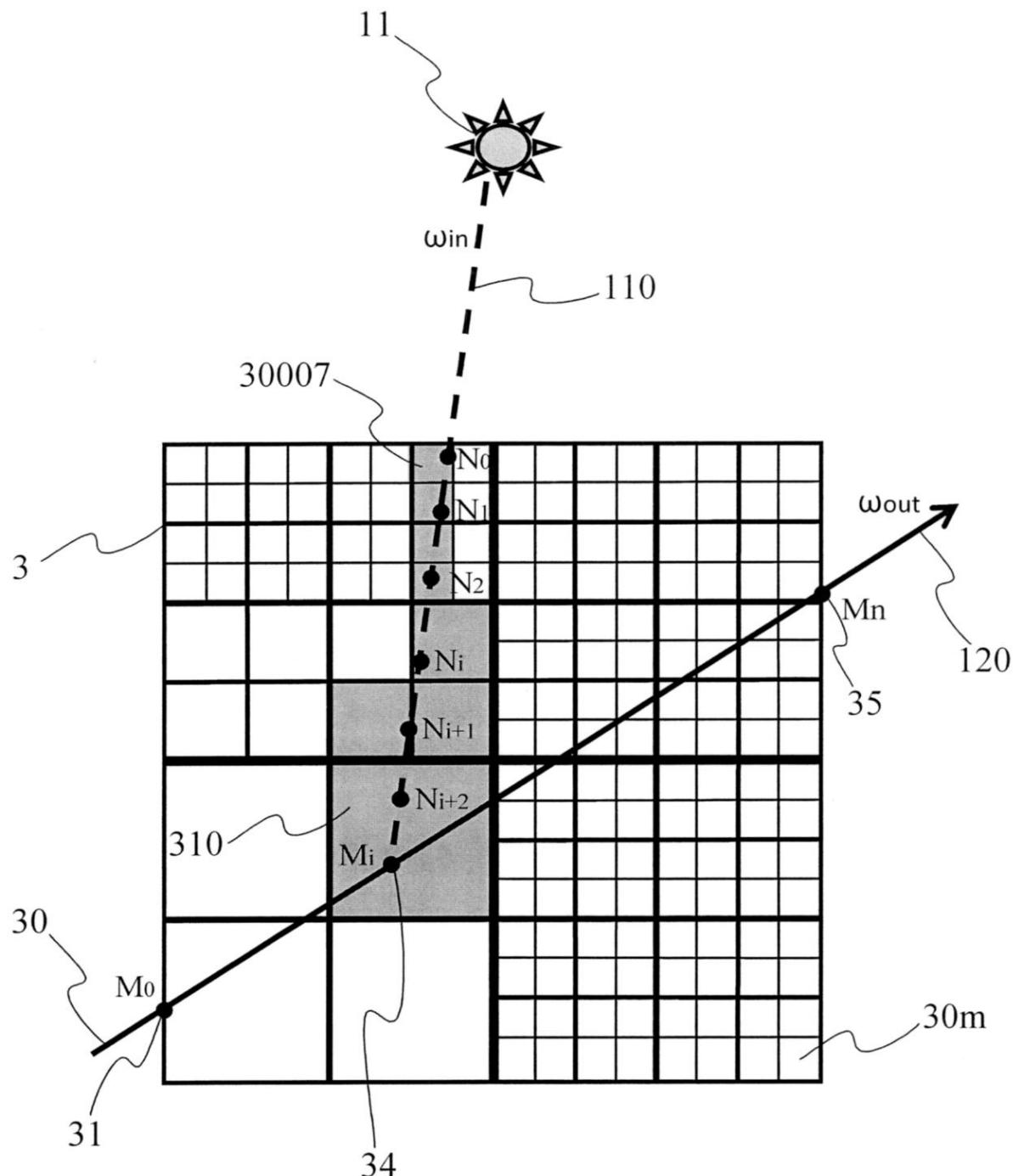
【図4A】



【図 4 B】



【図5】



---

フロントページの続き

(72)発明者 パスカル ゴートロン

フランス 35510 セゾン セヴィニエ アベニュー ド ベル フォンテーヌ 1 テクニ  
カラー アール アンド ディー フランス内

(72)発明者 ジャン - ユード マービー

フランス 35510 セゾン セヴィニエ アベニュー ド ベル フォンテーヌ 1 テクニ  
カラー アール アンド ディー フランス内

(72)発明者 シリル デラランドレ

フランス 35510 セゾン セヴィニエ アベニュー ド ベル フォンテーヌ 1 テクニ  
カラー アール アンド ディー フランス内

審査官 真木 健彦

(56)参考文献 特表2007-503060(JP,A)

特開2005-122735(JP,A)

倉地 紀子,ボリュームレンダリングって・・・・・・,CG WORLD vol.66,

日本,株式会社ワークスコーポレーション,2004年 2月 1日,第66巻,P.38-41

徳吉 雄介 丸山 稔,異方性散乱媒質が存在するシーンの高速レンダリング手法,情報処理学会  
論文誌 第46巻 第11号,日本,社団法人情報処理学会,2005年11月15日,第46巻  
第11号,P.2795-2803

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 06 T 15 / 80