

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6607491号
(P6607491)

(45) 発行日 令和1年11月20日(2019.11.20)

(24) 登録日 令和1年11月1日(2019.11.1)

(51) Int.Cl. F 1
G03H 1/04 (2006.01) G03H 1/04

請求項の数 5 (全 16 頁)

| | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|---------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2015-210488 (P2015-210488) | (73) 特許権者 | 301022471 |
| (22) 出願日 | 平成27年10月27日 (2015.10.27) | | 国立研究開発法人情報通信研究機構 |
| (65) 公開番号 | 特開2017-83598 (P2017-83598A) | | 東京都小金井市貫井北町4-2-1 |
| (43) 公開日 | 平成29年5月18日 (2017.5.18) | (74) 代理人 | 110001807 |
| 審査請求日 | 平成30年8月29日 (2018.8.29) | | 特許業務法人磯野国際特許商標事務所 |
| | | (72) 発明者 | 涌波 光喜 |
| | | | 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立 |
| | | | 研究開発法人情報通信研究機構内 |
| | | (72) 発明者 | 市橋 保之 |
| | | | 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立 |
| | | | 研究開発法人情報通信研究機構内 |
| | | (72) 発明者 | 佐々木 久幸 |
| | | | 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立 |
| | | | 研究開発法人情報通信研究機構内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ホログラムデータ生成装置及びそのプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ホログラム記録媒体にホログラムデータを記録する際に照射する参照光と、前記ホログラム記録媒体に記録されたホログラムデータを再生する際に照射する再生光との方向ズレを補正するホログラムデータ生成装置であって、

前記ホログラム記録媒体にホログラムデータを記録する際に照射する補正前物体光と前記参照光と前記再生光とについて、複素振幅分布を算出する複素振幅分布算出手段と、

前記方向ズレが補正された補正後物体光の複素振幅分布を表した算出式が予め設定され、予め設定された前記算出式及び前記補正前物体光と前記参照光と前記再生光との複素振幅分布に基づいて、前記補正後物体光の複素振幅分布を算出する補正後物体光算出手段と

10

、
 前記補正後物体光の複素振幅分布が反映されたホログラムデータを生成するホログラムデータ生成手段と、

を備え、

前記補正後物体光算出手段は、前記ホログラム記録媒体の画素位置 (x, y) 毎に、振幅 A_O 及び位相 ϕ_O で表された前記補正前物体光の複素振幅分布と、振幅 A_R 及び位相 ϕ_R で表された前記参照光の複素振幅分布と、振幅 A_P 及び位相 ϕ_P で表された前記再生光の複素振幅分布とを、前記算出式としての式 (4) に代入することで、

【数 1】

$$C(x, y) = \frac{A_R(x, y)}{A_P(x, y)} A_O(x, y) \exp[j(\varphi_O(x, y) - (\varphi_R(x, y) - \varphi_P(x, y)))]$$

…式 (4)

前記補正後物体光の複素振幅分布 C を算出することを特徴とするホログラムデータ生成装置。

【請求項 2】

ホログラム記録媒体にホログラムデータを記録する際に照射する参照光と、前記ホログラム記録媒体に記録されたホログラムデータを再生する際に照射する再生光との輝度分布の違いを補正するホログラムデータ生成装置であって、

前記ホログラム記録媒体にホログラムデータを記録する際に照射する補正前物体光と前記参照光と前記再生光とについて、複素振幅分布を算出する複素振幅分布算出手段と、

前記輝度分布の違いが補正された補正後物体光の複素振幅分布を表した算出式が予め設定され、予め設定された前記算出式及び前記補正前物体光と前記参照光と前記再生光との複素振幅分布に基づいて、前記補正後物体光の複素振幅分布を算出する補正後物体光算出手段と、

前記補正後物体光の複素振幅分布が反映されたホログラムデータを生成するホログラムデータ生成手段と、

を備え、

前記補正後物体光算出手段は、前記ホログラム記録媒体の画素位置 (x, y) 毎に、振幅 A_O 及び位相 φ_O で表された前記補正前物体光の複素振幅分布と、振幅 A_R 及び位相 φ_R で表された前記参照光の複素振幅分布と、振幅 A_P 及び位相 φ_P で表された前記再生光の複素振幅分布とを、前記算出式としての式 (4) に代入することで、

【数 2】

$$C(x, y) = \frac{A_R(x, y)}{A_P(x, y)} A_O(x, y) \exp[j(\varphi_O(x, y) - (\varphi_R(x, y) - \varphi_P(x, y)))]$$

…式 (4)

前記補正後物体光の複素振幅分布 C を算出することを特徴とするホログラムデータ生成装置。

【請求項 3】

前記複素振幅分布算出手段は、前記再生光の光源が複数の点光源である場合、各点光源から求めた複素振幅分布の総和を 1 つの前記再生光の複素振幅分布として算出することを特徴とする請求項 1 又は 請求項 2 に記載のホログラムデータ生成装置。

【請求項 4】

前記複素振幅分布算出手段は、前記再生光の光源が線光源又は面光源である場合、前記線光源又は前記面光源を点光源の集合として予め設定し、各点光源から求めた複素振幅分布の総和を 1 つの前記再生光の複素振幅分布として算出することを特徴とする請求項 1 又は 請求項 2 に記載のホログラムデータ生成装置。

【請求項 5】

コンピュータを、請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載のホログラムデータ生成装置として機能させるためのホログラムデータ生成プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願発明は、ホログラムデータを生成するホログラムデータ生成装置及びそのプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、CGデータから生成されたホログラムデータを用いて、立体表示を行う発明が提案されている（特許文献1）。この従来技術は、空間光変調器（SLM：Spatial Light Modulator）を透過した光を再生用レンズで収束させ、その焦点位置付近に立体像を結像するフーリエ変換ホログラム方式を採用したものである。そして、この従来技術は、再生用レンズと理想レンズとの位相差を表した補正データでホログラムデータを補正することで、再生用レンズの収差に起因する立体像の歪みを抑える。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0003】

【特許文献1】特開2014-215332号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

原理的には、ホログラフィでは、銀塩感材やフォトポリマーといったホログラム記録媒体にホログラムデータを記録して再生する場合、ホログラム記録時の参照光とホログラム再生時の照明光（再生光）を同一方向から照明することで、ホログラム記録時と同等の物体光を再生できる。だが現実的には、ホログラフィでは、ホログラムの設置条件や観察条件により、参照光と同一の光源を再生光として照明することが困難である場合が多い。参照光と再生光の方向に違いがあると、物体光が正しく再生されないという問題が生じる。

20

【0005】

ここで、SLMにホログラムデータを表示して再生した物体光をホログラム記録媒体に記録する技術（以下、「波面記録技術」）では、ホログラム記録面を小領域に分割し、各小領域を順次記録することで、ホログラム記録面全体を記録する。このとき、参照光は、各小領域に対して正面又は一定の入射角度を有する平行光の場合が多くなる。これに対し、ホログラム再生時、ホログラム全面を平行光で照明するには、光源からの光をコリメートするためにホログラム以上の大きさを有するレンズが必要となる。従って、ホログラムの大きさによっては、平行光での照明環境を整えることが難しくなり、ハロゲンランプ、LED光源等の点光源に近い照明を再生光として用いる場合が多くなる。この場合、参照光と再生光との方向ズレが生じるだけでなく、ホログラム記録面上の各画素位置から点光源までの距離が異なるため、輝度分布の違い（明るさのムラ）が発生する。

30

【0006】

また、波面記録技術では、物体光をホログラムデータ上で自由に調整できる。このため、ホログラム記録媒体に対する、参照光と再生光との入射角の方向ズレや輝度分布の違いをホログラムデータで予め補正することが可能である。

【0007】

前記した従来技術もホログラム再生時に生じる方向ズレ（位相のズレ）をホログラムデータの計算時に補正できる。しかし、前記した従来技術は、SLMで再生される物体光をホログラム記録媒体に記録せず、再生用レンズを通して直接観察する電子ホログラフィに関連した技術のため、参照光と再生光との方向ズレや輝度分布の違いを補正していない。さらに、前記した従来技術は、再生用レンズを用いるフーリエ変換型ホログラムのみを対象とするため、再生用レンズを必要としないフレネル型やイメージ型のホログラムに適用できない。

40

【0008】

そこで、本願発明は、波面記録技術において、補正前物体光を正しく再生できるホログラムデータ生成装置及びそのプログラムを提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

前記した課題に鑑みて、本願発明に係るホログラムデータ生成装置は、ホログラム記録

50

媒体にホログラムデータを記録する際に照射する参照光と、ホログラム記録媒体に記録されたホログラムデータを再生する際に照射する再生光との方向ズレを補正するホログラムデータ生成装置であって、複素振幅分布算出手段と、補正後物体光算出手段と、ホログラムデータ生成手段と、を備える構成とした。

【0010】

かかる構成によれば、ホログラムデータ生成装置は、複素振幅分布算出手段によって、再生したい物体光(補正前物体光)、ホログラム記録時の参照光、及び、ホログラム再生時の再生光について、ホログラム記録面上での複素振幅分布を算出する。

【0011】

ここで、補正前物体光の複素振幅分布は、計算機合成ホログラム(CGH: Computer Generated Hologram)等で用いられる公知のホログラム算出手段で算出できる。例えば、補正前物体光の複素振幅分布は、再生したい物体光を点光源やポリゴン光源で仮定し、各光源からホログラム記録面までの光波伝搬を算出する手法で求められる。また、補正前物体光の複素振幅分布は、多視点画像群等の高密度な光線情報を用いてホログラム記録面上の複素振幅分布を算出する手法で求めてもよい。

10

【0012】

前記したように、参照光は、ホログラム記録面に対して正面又は一定の入射角を有する平行光であることが多い。この場合、参照光の振幅情報がホログラム記録面全体で一定なので、参照光の複素振幅分布として、ホログラム記録面上での位置に応じて変化する位相分布のみを求めればよい。

20

【0013】

前記したように、再生光は、平行光、1つ又は複数の点光源と仮定できる場合が多い。

平行光と仮定した場合、再生光の複素振幅分布は、参照光と同様の手法で求められる。

1つの点光源と仮定した場合、再生光の複素振幅分布は、点光源からホログラム記録面までのキルヒホッフ回折積分式、角スペクトル法等の厳密な光波の伝搬計算、又は、フレネル回折等の近似計算で求められる。

複数の点光源と仮定した場合、再生光の複素振幅分布は、各点光源からの光波伝搬を計算し、計算結果の複素和を算出することで求められる。

【0014】

ホログラムデータ生成装置は、補正後物体光算出手段によって、方向ズレが補正された補正後物体光の複素振幅分布を表した算出式が予め設定される。この算出式は、補正前物体光の位相及び振幅の両方に寄与し、方向ズレの補正が可能である。

30

【0015】

そして、ホログラムデータ生成装置は、補正後物体光算出手段によって、予め設定された算出式及び補正前物体光と参照光と再生光との複素振幅分布に基づいて、補正後物体光の複素振幅分布を算出する。このとき、補正後物体光算出手段は、ホログラム記録媒体の画素位置(x, y)毎に、振幅 A_O 及び位相 ϕ_O で表された補正前物体光の複素振幅分布と、振幅 A_R 及び位相 ϕ_R で表された参照光の複素振幅分布と、振幅 A_P 及び位相 ϕ_P で表された再生光の複素振幅分布とを、算出式としての式(4)に代入することで、補正後物体光の複素振幅分布Cを算出する。さらに、ホログラムデータ生成装置は、ホログラムデータ生成手段によって、補正後物体光の複素振幅分布が反映されたホログラムデータを生成する。

40

【0016】

ここで、本願発明に係るホログラムデータ生成装置は、前記した方向ズレだけでなく、ホログラム記録時の参照光とホログラム再生時の再生光との輝度分布の違いを補正することもできる。

【発明の効果】

【0017】

本願発明によれば、以下のような優れた効果を奏する。

本願発明に係るホログラムデータ生成装置は、方向ズレや輝度ムラが補正されたホログ

50

ラムデータを生成するので、補正前物体光を正しく再生することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本願発明において、ホログラムデータの記録を説明する説明図である。

【図2】本願発明において、ホログラム再生時における方向ズレを説明する説明図である。

【図3】本願発明において、ホログラム再生時における輝度分布の違いを説明する説明図である。

【図4】本願発明において、ホログラム記録時、反射型のホログラムで方向ズレ及び輝度分布の違いの補正を説明する説明図である。

10

【図5】本願発明において、ホログラム再生時、反射型のホログラムで方向ズレ及び輝度分布の違いの補正を説明する説明図である。

【図6】本願発明において、ホログラム記録時、透過型のホログラムで方向ズレ及び輝度分布の違いの補正を説明する説明図である。

【図7】本願発明において、ホログラム再生時、透過型のホログラムで方向ズレ及び輝度分布の違いの補正を説明する説明図である。

【図8】本願発明の実施形態に係るホログラムデータ記録システムの構成を示すブロック図である。

【図9】本願発明において、再生光の光源が複数の点光源である場合に複素振幅分布の算出を説明する説明図である。

20

【図10】本願発明において、再生光の光源が線光源である場合に複素振幅分布の算出を説明する説明図である。

【図11】本願発明において、再生光の光源が面光源である場合に複素振幅分布の算出を説明する説明図である。

【図12】図8のホログラムデータ生成装置の動作を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0019】

(方向ズレ及び輝度分布の違いの補正手法)

図1～図3を参照し、本願発明における方向ズレ及び輝度分布の違いの補正手法を説明した後、本願発明の実施形態に係るホログラムデータ記録システムの構成について説明する。

30

【0020】

図1のように、波面記録技術において、ホログラム記録媒体9にホログラムデータを記録する際(ホログラム記録時)、参照光Rを物体光(補正前物体光)Oの正面から照射し、物体光O及び参照光Rの干渉縞がホログラム記録媒体9に記録(印刷)することを考える。このとき、参照光Rと同一の再生光をホログラム記録媒体9に照射すれば、被写体Tの立体像Uがそのまま再生される。

【0021】

図2のように、観察者Vがホログラム記録媒体9の正面で立体像を観察する場合、再生光の光源をホログラム記録媒体9の正面に配置することが困難である。従って、参照光Rに対して角度だけ外れた方向から再生光Pを照射するので、参照光Rと再生光Pとの方向ズレに起因して物体光が正しく再生されない。その結果、被写体Tの立体像Uが、本来の位置(つまり、被写体Tの位置)からずれた位置に歪んで再生される。

40

なお、図2では、説明のために参照光R及び破線で被写体Tを図示したが、ホログラム記録媒体9に記録されたホログラムデータを再生する際(ホログラム再生時)、参照光Rを照射せず、被写体Tは存在しない。

【0022】

また、図3のように、再生光Pの光源を点光源 90_p とした場合、ホログラム記録媒体9の中心から点光源 90_p までの距離 L_1 と、ホログラム記録媒体9の端から点光源 90_p までの距離 L_2 とが異なる。この距離 L_1 、 L_2 の相違により、ホログラム記録媒体9

50

の中心が明るく、端が暗くなるといった輝度ムラに起因する、ホログラム記録時の参照光 R に対しての輝度分布の違いが発生する

【 0 0 2 3 】

前記した参照光 R と再生光 P との方向ズレ、又は、輝度分布の違いが発生すると、物体光が正しく再生されない。そこで、ホログラム記録時、ホログラムデータ上で方向ズレ及び輝度分布の違いを予め補正する。

【 0 0 2 4 】

図 4 のように、ホログラム記録媒体 9 に反射型ホログラムを記録することとする。この図 4 では、ホログラム記録時の物体光 O を破線で図示し、参照光 R を実線で図示した。また、図 4 では、物体光 O の伝搬方向をブロック矢印で図示した。

10

【 0 0 2 5 】

ここで、物体光の複素振幅分布 $O(x, y)$ を以下の式 (1) のように定義する。この式 (1) では、 A_O が物体光 O の振幅を表し、 ϕ_O が物体光 O の位相を表し、 j が虚数単位を表し、 e^{xp} が指数関数を表す。また、 (x, y) は、ホログラム記録媒体 9 の中心画素を原点 $(0, 0)$ とした 2 次元座標系を表す。

【 0 0 2 6 】

【数 1】

$$O(x,y)=A_O(x,y)\exp[j\phi_O(x,y)] \quad \dots\text{式 (1)}$$

【 0 0 2 7 】

また、ホログラム記録媒体 9 で正反射する参照光の複素振幅分布 $R(x, y)$ を以下の式 (2) のように定義する。この式 (2) では、 A_R が参照光 R の振幅を表し、 ϕ_R が参照光 R の位相を表す。

20

【 0 0 2 8 】

【数 2】

$$R(x,y)=A_R(x,y)\exp[j\phi_R(x,y)] \quad \dots\text{式 (2)}$$

【 0 0 2 9 】

図 5 では、ホログラム記録時の再生光 P を実線で図示した。

ここで、ホログラム記録媒体 9 で正反射する再生光の複素振幅分布 $P(x, y)$ を以下の式 (3) のように定義する。この式 (3) では、 A_P が再生光 P の振幅を表し、 ϕ_P が再生光 P の位相を表す。

30

【 0 0 3 0 】

【数 3】

$$P(x,y)=A_P(x,y)\exp[j\phi_P(x,y)] \quad \dots\text{式 (3)}$$

【 0 0 3 1 】

図 4 , 図 5 のように、物体光 O の伝搬方向を正方向とすると、ホログラム記録媒体 9 で反射された参照光 R 及び再生光 P も正方向に伝搬することになる。この場合、方向ズレや輝度分布の違いが補正された補正後物体光の複素振幅分布 $C(x, y)$ は、式 (4) の算出式で表すことができる。

40

【 0 0 3 2 】

【数 4】

$$C(x,y) = \frac{A_R(x,y)}{A_P(x,y)} A_O(x,y) \exp[j(\phi_O(x,y) - (\phi_R(x,y) - \phi_P(x,y)))]$$

…式 (4)

【 0 0 3 3 】

この式 (4) は、方向ズレのみが発生した場合には方向ズレのみを補正する。また、式 (4) は、輝度分布の違いのみが発生した場合には輝度分布の違いのみを補正する。さら

50

に、式(4)は、方向ズレ及び輝度分布の違いの両方が発生した場合には方向ズレ及び輝度分布の違いの両方を補正できる。

【0034】

ここで、ホログラム記録媒体9に透過型ホログラムを記録する場合も考える。この場合、ホログラム記録時、図6のように物体光O及び参照光Rが正方向に伝搬し、ホログラム再生時、図7のように再生光Pが正方向に伝搬することから、前記式(4)をそのまま用いることができる。つまり、前記式(4)は、ホログラム記録媒体9に記録するホログラムが反射型又は透過型の何れであっても適用できる。

【0035】

以上より、物体光の複素振幅分布 $O(x, y)$ 、参照光の複素振幅分布 $R(x, y)$ 、及び、再生光の複素振幅分布 $P(x, y)$ を求め、それぞれを振幅 A_O, A_R, A_P 及び位相 ϕ_O, ϕ_R, ϕ_P に分解する。そして、振幅 A_O, A_R, A_P 及び位相 ϕ_O, ϕ_R, ϕ_P を前記式(4)に代入することで、補正後物体光の複素振幅分布 $C(x, y)$ が求められる。

10

【0036】

その後、補正後物体光の複素振幅分布 $C(x, y)$ が反映されたホログラムデータを生成し、生成したホログラムデータをSLMに表示して再生し、再生された補正後物体光をホログラム記録媒体9に記録する。例えば、ホログラムデータが表す干渉縞 $H(x, y)$ は、以下の式(5)で定義される。この式(5)では、上付きの‘*’が複素共役を表し、 R_2 がSLMで補正後物体光を再生するためにSLMに照射する再生光を表す。つまり、 R_2 は、ホログラム記録時にホログラム記録媒体9に照射された参照光と異なる。

20

【0037】

【数5】

$$H(x,y)=|C(x,y)+R_2(x,y)|^2 \\ =|C(x,y)|^2+|R_2(x,y)|^2+C(x,y)R_2^*(x,y)+C^*(x,y)R_2(x,y)$$

…式(5)

【0038】

(ホログラムデータ記録システムの構成)

図8を参照し、本願発明の実施形態に係るホログラムデータ記録システム1の構成について説明する。

30

図8のように、ホログラムデータ記録システム1は、ホログラムデータをホログラム記録媒体9に記録するものであり、ホログラムデータ記録装置10と、ホログラムデータ生成装置20とを備える。

【0039】

ホログラム記録媒体9は、ホログラムデータが記録されるものである。具体的には、ホログラム記録媒体9の素材として例えば、ガラス又はプラスチックの基板にフォトポリマーと感光材とを積層させたものが挙げられる。

【0040】

[ホログラムデータ記録装置の構成]

40

まず、ホログラムデータ記録装置10の構成について説明する。

ホログラムデータ記録装置10は、レーザ100と、1/2波長板101と、レンズ102, 103と、偏光ビームスプリッタ104と、物体光光学系110と、参照光光学系120と、ステージ130とを備える。

【0041】

レーザ100は、レーザ光を発振するレーザ装置である。例えば、レーザ100としては、ホログラム記録媒体9の記録方式に応じて、連続発振レーザ、パルスレーザ等のレーザ光を発振するレーザ装置を用いることができる。

【0042】

1/2波長板101は、後記する偏光ビームスプリッタ104で分岐されるP偏光及び

50

S 偏光のバランスを調整するために、レーザ 100 からのレーザ光の偏光方向を変えるものである。

【0043】

レンズ 102 は、例えば、1/2 波長板 101 からのレーザ光のビーム径を拡大する凸レンズである。このレンズ 102 は、その機能を満たすものであれば、単レンズ又は複合レンズであってもよい（後記するレンズ 103, 113, 115 ~ 117 も同様）。

なお、レンズ 102 で拡大されたレーザ光の光軸中心を長破線で図示し、レーザ光の両端を短破線で図示した。

【0044】

レンズ 103 は、例えば、レンズ 102 からのレーザ光を平行光に変換する凸レンズである。

10

偏光ビームスプリッタ 104 は、レンズ 103 からのレーザ光を、物体光（P 偏光）と参照光（S 偏光）とに分岐するものである。つまり、偏光ビームスプリッタ 104 は、レンズ 103 からのレーザ光を、互いに直交する P 偏光と S 偏光とに分岐する。本実施形態では、偏光ビームスプリッタ 104 を透過したレーザ光を物体光とし、偏光ビームスプリッタ 104 で反射されたレーザ光を参照光とする。

【0045】

物体光光学系 110 は、偏光ビームスプリッタ 104 を透過した物体光をホログラム記録媒体 9 に出射する光学系である。この物体光光学系 110 は、物体光光学系 110 からの物体光及び参照光光学系 120 からの参照光がホログラム記録媒体 9 の記録面上で同一位置に照射されるように配置されている。また、物体光光学系 110 は、偏光ビームスプリッタ 111 と、SLM 112 と、レンズ 113 と、HZP（ハーフゾーンプレート）処理用マスク 114 と、レンズ 115 ~ 117 とを備える。

20

【0046】

偏光ビームスプリッタ 111 は、偏光ビームスプリッタ 104 からの物体光を SLM 112 に透過すると共に、SLM 112 からの物体光をレンズ 113 に向けて反射するものである。つまり、偏光ビームスプリッタ 111 は、SLM 112 で振幅が変調された物体光をレンズ 113 に向けて反射する。

【0047】

SLM 112 は、ホログラムデータ生成装置 20 から入力されたホログラムデータを表示する振幅変調素子である。そして、SLM 112 は、偏光ビームスプリッタ 111 からの物体光の振幅をホログラムデータに従って変調し、ホログラムデータ（干渉縞）が反映された物体光を偏光ビームスプリッタ 111 に反射する。

30

なお、ホログラムデータとは、ホログラムの干渉縞を表したデータである。本実施形態では、ホログラムデータは、方向ズレや輝度分布の違いを補正した補正情報（補正後物体光の複素振幅分布）が反映されている。

【0048】

レンズ 113 は、例えば、偏光ビームスプリッタ 111 で反射された物体光を HZP 処理用マスク 114 に集光する凸レンズである。

HZP 処理用マスク 114 は、妨害光を除去する HZP 処理を行うために、レンズ 113 からの物体光の半分を遮蔽するマスクである。

40

【0049】

レンズ 115 は、例えば、HZP 処理用マスク 114 からの物体光を平行光に変換する凸レンズである。

レンズ 116 は、例えば、レンズ 115 からの物体光をレンズ 117 に集光する凸レンズである。

レンズ 117 は、例えば、レンズ 116 からの物体光をホログラム記録媒体 9 に出射する凸レンズである。

【0050】

参照光光学系 120 は、偏光ビームスプリッタ 104 で反射された参照光をホログラム

50

記録媒体 9 に出射する光学系であり、空間フィルタ 1 2 1 と、ミラー 1 2 2 , 1 2 3 とを備える。

【 0 0 5 1 】

空間フィルタ 1 2 1 は、偏光ビームスプリッタ 1 0 4 で反射された参照光の外周部を遮断するフィルタである。

ミラー 1 2 2 は、空間フィルタ 1 2 1 からの参照光をミラー 1 2 3 に反射するものである。

ミラー 1 2 3 は、ミラー 1 2 2 からの参照光をホログラム記録媒体 9 に反射するものである。

【 0 0 5 2 】

ステージ 1 3 0 は、ホログラム記録媒体 9 を搭載し、任意の位置に移動させるものである。例えば、ステージ 1 3 0 は、ホログラムデータを要素セル単位で記録する場合、搭載したホログラム記録媒体 9 を 2 軸方向に移動させてもよい。

【 0 0 5 3 】

以上の構成により、レーザ 1 0 0 が出射したレーザ光は、1 / 2 波長板 1 0 1 により偏光方向が調整される。そして、このレーザ光は、偏光ビームスプリッタ 1 0 4 により、物体光と参照光とに分岐される。

【 0 0 5 4 】

物体光は、偏光ビームスプリッタ 1 1 1 を透過し、S L M 1 1 2 に入射する。このとき、S L M 1 1 2 は、補正情報が反映されたホログラムデータを表示している。従って、S L M 1 1 2 に入射した物体光は、S L M 1 1 2 に表示されたホログラムデータに応じて、その振幅が変調され、P 偏光としてホログラム記録媒体 9 に出射される。

【 0 0 5 5 】

また、参照光は、空間フィルタ 1 2 1 によって物体光と同一ビーム径まで絞られ、ミラー 1 2 2 で反射される。そして、参照光は、参照光光学系 1 2 0 を介して、ホログラム記録媒体 9 に出射される。このように、物体光及び参照光が共にホログラム記録媒体 9 の同一位置に照射され、ホログラムデータ（干渉縞）が記録される。

【 0 0 5 6 】

[ホログラムデータ生成装置の構成]

次に、ホログラムデータ生成装置 2 0 の構成について説明する。

ホログラムデータ生成装置 2 0 は、ホログラム記録時の参照光とホログラム再生時の再生光との方向ズレ、又は、輝度分布の違いが補正されたホログラムデータを生成するものである。

【 0 0 5 7 】

図 8 のように、ホログラムデータ生成装置 2 0 は、パラメータ入力手段 2 1 と、複素振幅分布算出手段 2 2 と、補正情報算出手段（補正後物体光算出手段）2 3 と、ホログラムデータ生成手段 2 4 とを備える。

【 0 0 5 8 】

パラメータ入力手段 2 1 は、物体光、参照光及び再生光の複素振幅分布の算出に必要なパラメータを入力するものである。例えば、ホログラムデータ記録装置 1 0 の利用者が、図示を省略したマウス、キーボード等の操作手段を用いて、パラメータをパラメータ入力手段 2 1 に入力する。

【 0 0 5 9 】

例えば、物体光の複素振幅分布 $O(x, y)$ は、点光源モデル、ポリゴンモデル、又は、光線サンプリング面により算出される。従って、パラメータ入力手段 2 1 には、物体光に関するパラメータとして、点光源モデル、ポリゴン点光源モデル、又は、多視点画像群等の光線情報といった公知のホログラム計算手法に用いられる情報を入力する。より具体的には、パラメータは、点光源モデルやポリゴン光源モデルを用いる場合、各光源の 3 次元情報や輝度情報となる。また、パラメータは、光線情報を用いる場合、各光線の輝度情報、光線の空間サンプリング情報や角度サンプリング情報となる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 0 】

通常、ホログラム記録時にホログラム記録媒体 9 に照射する参照光は、平行光であることが多い。この場合、パラメータ入力手段 2 1 には、参照光に関するパラメータとして、参照光の波長、原点での初期位相、及び、 x 軸及び y 軸に対するなす角を入力する。

【 0 0 6 1 】

再生光の光源 90_p が点光源の場合、その複素振幅分布 $P(x, y)$ は、フレネル回折により算出できる。従って、パラメータ入力手段 2 1 には、再生光に関するパラメータとして、点光源の波長及び振幅、初期位相、光源 90_p の位置を入力する。

図 9 のように、再生光の光源 90_p が、光源 $90_{p_1}, \dots, 90_{p_n}$ のように複数の場合もある (n は 2 以上の整数)。この場合、パラメータ入力手段 2 1 には、全ての光源 90_p について、パラメータを入力する。

10

【 0 0 6 2 】

また、図 10 のように、再生光の光源 90_p が線光源の場合もある。この場合、パラメータ入力手段 2 1 には、線光源を n 個の光源 $90_{p_1}, \dots, 90_{p_n}$ の集合として予め設定し (n は 2 以上の整数)、全ての光源 90_p について、パラメータを入力する。

さらに、図 11 のように、再生光の光源 90_p が面光源の場合もある。この場合、パラメータ入力手段 2 1 には、面光源を $m \times n$ 個の光源 $90_{p_{11}}, \dots, 90_{p_{mn}}$ の集合として予め設定し (m, n は 2 以上の整数)、全ての光源 90_p について、パラメータを入力する。

【 0 0 6 3 】

その後、パラメータ入力手段 2 1 は、入力されたパラメータを複素振幅分布算出手段 2 2 に出力する。

20

図 8 に戻り、ホログラムデータ生成装置 2 0 の構成について、説明を続ける。

【 0 0 6 4 】

複素振幅分布算出手段 2 2 は、パラメータ入力手段 2 1 から入力されたパラメータを参照して、物体光と参照光と再生光とについて、複素振幅分布を算出するものである。

具体的には、複素振幅分布算出手段 2 2 は、点光源モデル、ポリゴン点光源モデル又は光線情報を用いた公知のホログラム算出手法により、物体光の複素振幅分布 $O(x, y)$ を算出する。

【 0 0 6 5 】

例えば、点光源モデル及びポリゴン点光源モデルの場合、ホログラム算出手法として、下記の参考文献 1, 2 に記載の手法をそれぞれ利用できる。

30

参考文献 1 : M.Lucente, "Interactive computation of holograms of holograms using a look-up table", Journal of Electronic Imaging, Vol.2, No.1, 1993

参考文献 2 : K.Matsushima, S.Nakahara, "Extremely high-definition full-parallax computer-generated hologram created by the polygon-based method", Applied optics, Vol.48, Issue 34, 2009

【 0 0 6 6 】

また、光線情報の場合、ホログラム算出手法として、下記の参考文献 3, 4 に記載の手法を利用できる。

40

参考文献 3 : T.Yatagai, "Stereoscopic approach to 3-D display using computer-generated hologram", Applied Optics Vol.15, Issue 11, 1976

参考文献 4 : K.Wakunami, M.Yamaguchi, "Calculation for computer generated hologram using ray-sampling plane", Optics Express, Vol.19, Issue 10, 2011

【 0 0 6 7 】

また、複素振幅分布算出手段 2 2 は、平行光である参照光の複素振幅分布 $R(x, y)$ を以下の式 (6) により算出する。この式 (6) では、 k が波数 ($k = 2\pi / \lambda_R$) を表し、 λ_R が参照光 R の波長を表す。また、 $(0, 0)$ は、2次元座標系 (x, y) の原点 $(0, 0)$ における初期位相を表す。また、 α_x, α_y は、それぞれ x 軸及び y 軸に対するなす角を表す。

50

【 0 0 6 8 】

【 数 6 】

$$R(x,y)=\exp[j(\varphi_{(0,0)}+kx\sin\theta_x+kysin\theta_y)] \quad \dots\text{式 (6)}$$

【 0 0 6 9 】

また、複素振幅分布算出手段 2 2 は、光源 9 0 p が点光源である再生光の複素振幅分布 $P(x, y)$ をフレネル回折により算出する。このフレネル回折は、以下の式 (7) で定義される。この式 (7) では、 A_p が再生光の振幅を表し、 λ が再生光の波長を表し、 (x_p, y_p, z) が光源 9 0 p の位置を表す。

【 0 0 7 0 】

【 数 7 】

$$P(x,y) = \frac{A_p}{j\lambda z} \exp \left[jk \sqrt{z^2 + (x - x_p)^2 + (y - y_p)^2} \right]$$

…式 (7)

【 0 0 7 1 】

ここで、複素振幅分布算出手段 2 2 は、再生光の光源 9 0 p n が複数の場合、光源 9 0 p n 毎に再生光の複素振幅分布 $P_n(x, y)$ を算出する。そして、複素振幅分布算出手段 2 2 は、以下の式 (8) により、光源 9 0 p n 毎に算出した再生光の複素振幅分布 $P_n(x, y)$ の総和を、1 つの再生光の複素振幅分布 $P(x, y)$ として算出する。

【 数 8 】

$$P(x,y) = \sum_{n=1}^N P_n(x,y) \quad \dots\text{式 (8)}$$

【 0 0 7 2 】

なお、複素振幅分布算出手段 2 2 は、再生光の光源 9 0 p が線光源又は面光源の場合、線光源又は面光源を点光源の集合として予め設定し、式 (8) を用いて、再生光の複素振幅分布 $P(x, y)$ を算出する。

【 0 0 7 3 】

その後、複素振幅分布算出手段 2 2 は、算出した物体光の複素振幅分布 $O(x, y)$ と、参照光の複素振幅分布 $R(x, y)$ と、再生光の複素振幅分布 $P(x, y)$ とを、補正情報算出手段 2 3 に出力する。

【 0 0 7 4 】

補正情報算出手段 2 3 は、補正情報を算出するものである。

具体的には、補正情報算出手段 2 3 は、方向ズレや輝度分布の違いが補正された補正後物体光の複素振幅分布 $C(x, y)$ を表した算出式として、前記式 (4) が予め設定されている。

また、補正情報算出手段 2 3 は、複素振幅分布算出手段 2 2 から入力された物体光の複素振幅分布 $O(x, y)$ と、参照光の複素振幅分布 $R(x, y)$ と、再生光の複素振幅分布 $P(x, y)$ とをそれぞれ、前記式 (1) ~ 式 (3) を用いて、振幅 A_O, A_R, A_P 及び位相 ϕ_O, ϕ_R, ϕ_P に分解する。

そして、補正情報算出手段 2 3 は、振幅 A_O, A_R, A_P 及び位相 ϕ_O, ϕ_R, ϕ_P を前記式 (4) に代入することで、補正後物体光の複素振幅分布 $C(x, y)$ を算出する。

その後、補正情報算出手段 2 3 は、算出した補正後物体光の複素振幅分布 $C(x, y)$ をホログラムデータ生成手段 2 4 に出力する。

【 0 0 7 5 】

ホログラムデータ生成手段 2 4 は、補正情報算出手段 2 3 から入力された補正後物体光の複素振幅分布 $C(x, y)$ が反映されたホログラムデータを生成するものである。

具体的には、ホログラムデータ生成手段 2 4 は、前記式 (5) を用いて、ホログラムデ

10

20

30

40

50

ータを生成する。すなわち、ホログラムデータ生成手段 24 は、補正後物体光の複素振幅分布 $C(x, y)$ を一般的なホログラムエンコード手法でエンコードし、ホログラムデータを生成する。

その後、ホログラムデータ生成手段 24 は、生成したホログラムデータを SLM 112 に出力する。

【0076】

[ホログラムデータ生成装置の動作]

図 12 を参照し、ホログラムデータ生成装置 20 の動作について説明する（適宜図 8 参照）。

【0077】

ホログラムデータ生成装置 20 は、パラメータ入力手段 21 によって、物体光、参照光及び再生光の複素振幅分布の算出に必要なパラメータを入力する（ステップ S1）。

ホログラムデータ生成装置 20 は、複素振幅分布算出手段 22 によって、ステップ S1 で入力されたパラメータを参照して、物体光と参照光と再生光とについて、複素振幅分布を算出する（ステップ S2）。

【0078】

ホログラムデータ生成装置 20 は、補正情報算出手段 23 によって、補正情報として、補正後物体光の複素振幅分布 $C(x, y)$ を算出する（ステップ S3）。

ホログラムデータ生成装置 20 は、ホログラムデータ生成手段 24 によって、補正後物体光の複素振幅分布 $C(x, y)$ が反映されたホログラムデータを生成する（ステップ S4）。

【0079】

その後、ステップ S4 で生成されたホログラムデータは、SLM 112 に出力、表示され、ホログラム記録媒体 9 に記録される。

ホログラム再生時、パラメータ入力手段 21 に入力したパラメータと同一条件で再生光をホログラム記録媒体 9 に照明すればよい。

【0080】

（作用・効果）

本願発明に係るホログラムデータ生成装置 20 は、方向ズレや輝度分布の違いが補正されたホログラムデータを生成するので、方向ズレに起因した立体像の歪みや輝度分布の違いを抑制し、補正前物体光を正しく再生することができる。

【0081】

さらに、ホログラムデータ生成装置 20 は、ホログラム展示環境に応じて、様々な照明光源に対応したホログラムデータを生成することが可能になる。これにより、コンテンツ制作者が意図した立体像や補正前物体光を高い再現度で再生することができる。

【0082】

以上、本願発明の各実施形態を詳述してきたが、本願発明は前記した実施形態に限られるものではなく、本願発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。

【0083】

前記した実施形態では、複素振幅分布算出手段が、再生光の複素振幅分布をフレネル回折で算出することとして説明したが、本願発明は、これに限定されない。例えば、複素振幅分布算出手段は、フレネル回折等の近似計算だけでなく、キルヒホッフ回折積分式、角スペクトル法等の厳密計算で再生光の複素振幅分布を算出してもよい。

【0084】

ホログラムデータ記録装置の構成（例えば、光学系の構成）は、前記した実施形態に限定されない。

前記した実施形態では、空間光変調器が振幅変調素子であることとして説明したが、これに限定されない。例えば、空間光変調器は、位相変調素子、又は、DPH（double phase hologram）光学系等の位相及び振幅の両方を変調できる素子としてもよい。このように、共役光や 0 次光等の不要光が発生しない場合、フィルタ処理用の光学系（図 1 のレン

10

20

30

40

50

ズ 1 1 3 , 1 1 5 及び H Z P 処理用マスク 1 1 4) を省略してもよい。

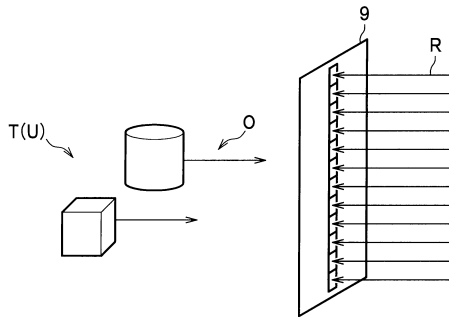
前記した実施形態では、ホログラムデータ生成装置を独立したハードウェアとして説明したが、本願発明は、これに限定されない。例えば、コンピュータが備える CPU、メモリ、ハードディスク等のハードウェア資源を、ホログラムデータ生成装置として協調動作させるホログラムデータ生成プログラムで実現することもできる。このプログラムは、通信回線を介して配布してもよく、CD-ROM やフラッシュメモリ等の記録媒体に書き込んで配布してもよい。

【符号の説明】

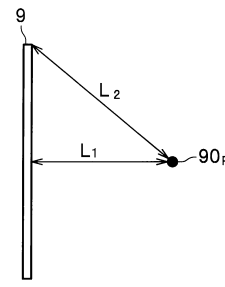
【 0 0 8 5 】

| | | |
|--------------------------|----------------------|----|
| 1 | ホログラムデータ記録システム | 10 |
| 9 | ホログラム記録媒体 | |
| 10 | ホログラムデータ記録装置 | |
| 20 | ホログラムデータ生成装置 | |
| 21 | パラメータ入力手段 | |
| 22 | 複素振幅分布算出手段 | |
| 23 | 補正情報算出手段(補正後物体光算出手段) | |
| 24 | ホログラムデータ生成手段 | |
| 100 | レーザ | |
| 101 | 1/2波長板 | |
| 102, 103, 113, 115 ~ 117 | レンズ | 20 |
| 104, 111 | 偏光ビームスプリッタ | |
| 110 | 物体光光学系 | |
| 112 | SLM | |
| 114 | H Z P 処理用マスク | |
| 120 | 参照光光学系 | |
| 121 | 空間フィルタ | |
| 122, 123 | ミラー | |
| 130 | ステージ | |

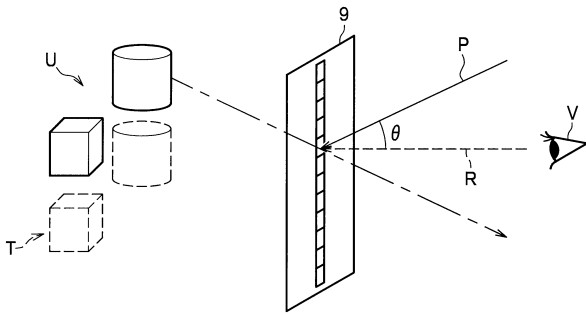
【図1】



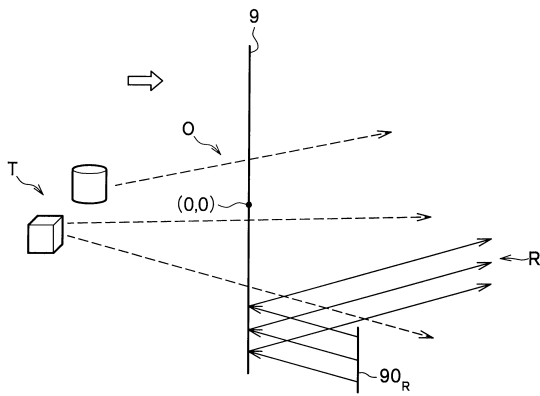
【図3】



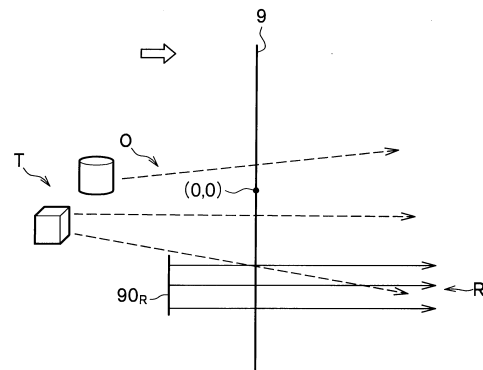
【図2】



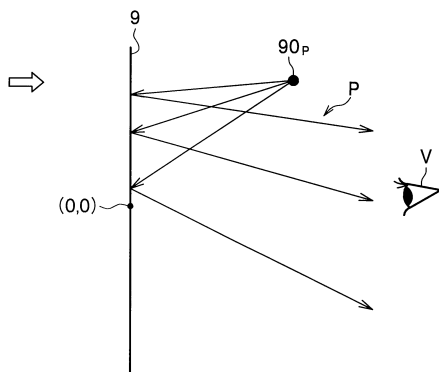
【図4】



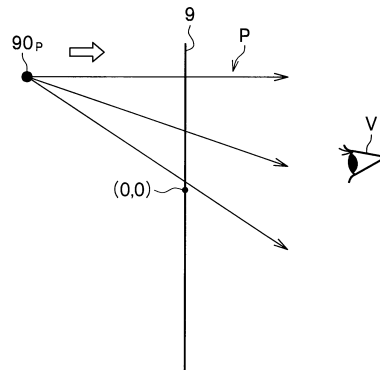
【図6】



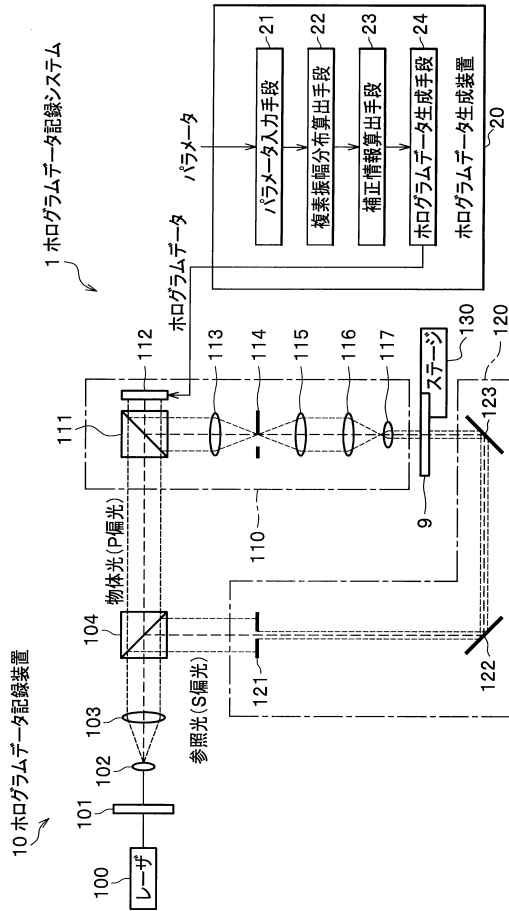
【図5】



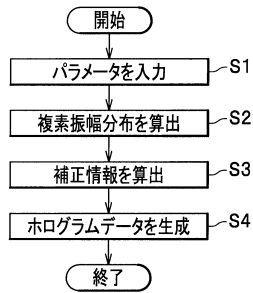
【図7】



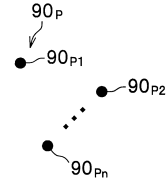
【図8】



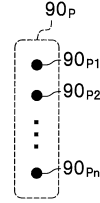
【図12】



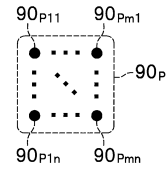
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

- (72)発明者 大井 隆太郎
東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内
- (72)発明者 妹尾 孝憲
東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内
- (72)発明者 山本 健詞
東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内

審査官 中村 説志

- (56)参考文献 特開平06-195017(JP,A)
特開平09-134112(JP,A)
特開2000-047553(JP,A)
特開2000-035745(JP,A)
特開2000-214751(JP,A)
特開2006-309012(JP,A)
米国特許第04834476(US,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G03H 1/00 - 5/00