

(19) 日本国特許庁 ( J P )

(12) 特 許 公 報 ( B 1 )

(11) 特許番号

第2963990号

(45) 発行日 平成11年(1999)10月18日

(24) 登録日 平成11年(1999) 8月13日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 1 B 11/00

G 0 1 B 11/00

H

G 0 1 C 3/06

G 0 1 C 3/06

P

請求項の数18(全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平10-158663

(22) 出願日 平成10年(1998) 5月25日

審査請求日 平成10年(1998) 5月22日

特許法第30条第1項適用申請有り 1998年1月3日、インド国ムンバイのボンベイ工科大学で開催された「I E E E International Workshop on Model-Based 3D Image Analysis」において発表

(73) 特許権者 391012442

京都大学長

京都府京都市左京区吉田本町36の1番地

(72) 発明者 日浦 慎作

京都府京都市左京区吉田泉殿町59-6

(72) 発明者 松山 隆司

京都府京都市左京区吉田本町5

(74) 代理人 弁理士 杉村 暁秀 (外8名)

審査官 岡田 卓弥

(56) 参考文献 特開 平6-186472 ( J P , A )

(58) 調査した分野(Int.Cl.<sup>6</sup> , D B名)

G01B 11/00 - 11/30 102

G01C 3/00 - 3/32

(54) 【発明の名称】 距離計測装置及び方法並びに画像復元装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ぼけ量の解析が容易となるように構造化した光通過手段と、

この光通過手段を通過した光を収束するレンズ系と、このレンズ系によって収束された光を二つ以上の光に分離し、これら分離した光から、互いに相違する合焦位置の画像をそれぞれ取り込む画像取込み手段と、これら画像を用いて対象の距離を演算する距離演算手段とを具え、

前記光通過手段及びレンズ系によってテレセントリック光学系を構成したことを特徴とする距離計測装置。

【請求項2】 前記光通過手段は二つのピンホールを有することを特徴とする請求項1記載の距離計測装置。

【請求項3】 前記画像取込み手段は、分光特性を除去するために全ての面が再蒸着されるとと

もに前記収束された光が第1の面に入射される第1のプリズムと、

分光特性を除去するために全ての面が再蒸着されるとともに前記第1のプリズムの第2の面に第1の面を接合した第2のプリズムと、

分光特性を除去するために全ての面が再蒸着されるとともに前記第2のプリズムの第2の面に第1の面を接合した第3のプリズムと、

前記第1のプリズムの第2の面及び第1の面によって反射された光が入射される第1の固体撮像素子と、

前記第2のプリズムの第2の面及び第1の面によって反射された光が入射される第2の固体撮像素子と、

前記第1、第2及び第3のプリズムを通過する光が入射される第3の固体撮像素子とを具え、

これら第1、第2及び第3の固体撮像素子の光学的配置

が互いに相違するようにしたことを特徴とする請求項1又は2記載の距離計測装置。

【請求項4】 前記距離演算手段は、生成に基づく解析法を用いて合焦位置を求め、この合焦位置及び前記レンズ系の焦点距離に基づいて前記対象の距離を演算するようにしたことを特徴とする請求項1から3のうちのいずれかに記載の距離計測装置。

【請求項5】 ぼけ量の解析が容易となるように構造化した光通過手段及びこの光通過手段を通過した光を収束するレンズ系によって構成されたテレセントリック光学系を通過した光を、二つ以上の光に分離し、これら分離した光から、互いに相違する合焦位置の画像をそれぞれ取り込み、これら画像を用いて対象の距離を演算することを特徴とする距離計測方法。

【請求項6】 前記光通過手段は二つのピンホールを有することを特徴とする請求項5記載の距離計測方法。

【請求項7】 前記テレセントリック光学系を通過した光を三つの光に分離し、

これら分離した光を、光学的配置が互いに相違する第1、第2及び第3の固体撮像素子にそれぞれ入射させることを特徴とする請求項5又は6記載の距離計測方法。

【請求項8】 前記対象の距離を演算するに際し、生成に基づく解析法を用いて合焦位置を求め、この合焦位置及び前記レンズ系の焦点距離に基づいて前記対象の距離を演算することを特徴とする請求項5から7のうちのいずれかに記載の距離計測方法。

【請求項9】 ぼけ量の解析が容易となるように構造化した光通過手段と、

この光通過手段を通過した光を収束するレンズ系と、このレンズ系によって収束された光を二つ以上の光に分離し、これら分離した光から、互いに相違する合焦位置の画像をそれぞれ取り込む画像取込み手段と、これら画像を用いて対象の距離を演算する距離演算手段と、合焦画像を復元する合焦画像復元手段とを具え、前記光通過手段及びレンズ系によってテレセントリック光学系を構成したことを特徴とする画像復元装置。

【請求項10】 前記光通過手段は二つのピンホールを有することを特徴とする請求項9記載の画像復元装置。

【請求項11】 前記画像取込み手段は、分光特性を除去するために全ての面が再蒸着されるとともに前記収束された光が第1の面に入射される第1のプリズムと、

分光特性を除去するために全ての面が再蒸着されるとともに前記第1のプリズムの第2の面に第1の面を接合した第2のプリズムと、

分光特性を除去するために全ての面が再蒸着されるとともに前記第2のプリズムの第2の面に第1の面を接合した第3のプリズムと、

前記第1のプリズムの第2の面及び第1の面によって反射された光が入射される第1の固体撮像素子と、

前記第2のプリズムの第2の面及び第1の面によって反射された光が入射される第2の固体撮像素子と、前記第1、第2及び第3のプリズムを通過する光が入射される第3の固体撮像素子とを具え、

これら第1、第2及び第3の固体撮像素子の光学的配置が互いに相違するようにしたことを特徴とする請求項9又は10記載の画像復元装置。

【請求項12】 前記距離演算手段は、生成に基づく解析法を用いて合焦位置を求め、この合焦位置及び前記レンズ系の焦点距離に基づいて前記対象の距離を演算するようにしたことを特徴とする請求項9から11のうちのいずれかに記載の画像復元装置。

【請求項13】 前記合焦画像復元手段は、前記合焦位置からぼけを含まない原画像の空間周波数スペクトルを求め、これをフーリエ逆変換することによって合焦画像を復元するようにしたことを特徴とする請求項12記載の画像復元装置。

【請求項14】 ぼけ量の解析が容易となるように構造化した光通過手段及びこの光通過手段を通過した光を収束するレンズ系によって構成されたテレセントリック光学系を通過した光を、二つ以上の光に分離し、

これら分離した光から、互いに相違する合焦位置の画像をそれぞれ取り込み、これら画像を用いて対象の距離を演算するとともに合焦画像を復元することを特徴とする画像復元方法。

【請求項15】 前記光通過手段は二つのピンホールを有することを特徴とする請求項14記載の画像復元方法。

【請求項16】 前記テレセントリック光学系を通過した光を三つの光に分離し、

これら分離した光を、光学的配置が互いに相違する第1、第2及び第3の固体撮像素子にそれぞれ入射させることを特徴とする請求項14又は15記載の画像復元方法。

【請求項17】 前記対象の距離を演算するに際し、生成に基づく解析法を用いて合焦位置を求め、この合焦位置及び前記レンズ系の焦点距離に基づいて前記対象の距離を演算することを特徴とする請求項14から16のうちのいずれかに記載の画像復元方法。

【請求項18】 前記原画像を復元するに際し、前記合焦位置からぼけを含まない合焦画像の空間周波数スペクトルを求め、これをフーリエ逆変換して前記合焦画像を復元することを特徴とする請求項17記載の画像復元方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、対象の距離計測を行う距離計測装置及び方法に関するものである。

【0002】また、本発明は、このような対象の距離計測に基づいて合焦画像を復元する画像復元装置及び方法

に関するものである。

#### 【0003】

【従来の技術】従来、レンズと像面の位置関係によって生じるぼけと被写体までの距離の関係を用いて距離を計測する方法が多数提案されており、そのうちの代表的なものとしては、

1. オートフォーカスカメラ等で用いられている方法。
2. レンズ焦点法。
3. 合焦位置を直接求める代わりに距離に対する画像のぼけ量の関係を用いた方法。
4. 可視光を用いて3次元形状を計測する方法。がある。

【0004】オートフォーカスカメラ等で用いられている方法は、瞳分割のために通常の撮像素子の代わりに専用の光学系を用いている。レンズ焦点法では、通常の撮像素子を用いており、この場合、レンズのフォーカス位置を駆動しながら得た画像から最もよく合焦しているときの画像を求め、そのときのフォーカス位置から距離を求める。

【0005】合焦位置を直接求める代わりに距離に対する画像のぼけ量の関係を用いた方法のうち、コロンビア大学のネイヤーによって提案されたものでは、テレセントリック光学系と二重フォーカスカメラを用いている。さらに、可視光を用いて3次元形状を計測する方法は、大阪市立大学の山田等によって提案されたものであり、従来X線撮像技術で用いられてきた符号化開口法を拡張したものである。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、オートフォーカスカメラ等で用いられている方法では、瞳分割のために通常の撮像素子ではなく専用の光学系を用いる必要があるため、画面中の1点又は数点に対する距離しか求めることができない。レンズ焦点法では、逐次的なレンズ駆動が必要となり、これを用いて動物体の計測やリアルタイム計測を行うことは困難である。

【0007】ネイヤーによって提案された方法によれば、単なる円形開口のレンズを用いているために、レンズ収差のモデリング、CCD(電荷結合素子)の精密な位置合わせ、得られた画像からのノイズ除去が必要となる。また、ぼけの大きさも比較的小さいものに制限されるので、遠距離物体の計測や奥行き精度の確保が困難である。

【0008】山田等によって提案された方法は、光学的には従来の符号化開口法を何ら拡張しておらず、現存するCCDの面積やノイズ性能を考慮すると十分な性能を得ることが困難である。特に、遠距離物体の計測は非常に困難であり、ミリメートルオーダの微小な物体しか計測することができない。

【0009】本発明の第1の目的は、上記不都合を生ずることなく安定かつ高精度に対象の距離計測を行うこと

ができる距離計測装置及び方法を提供することである。

【0010】本発明の第2の目的は、上記不都合を生ずることなく完全な合焦画像を復元する画像復元装置及び方法を提供することである。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】本発明のうち請求項1記載の距離計測装置は、ぼけ量の解析が容易となるように構造化した光通過手段と、この光通過手段を通過した光を収束するレンズ系と、このレンズ系によって収束された光を二つ以上の光に分離し、これら分離した光から、互いに相違する合焦位置の画像をそれぞれ取り込む画像取込み手段と、これら画像を用いて対象の距離を演算する距離演算手段とを具え、前記光通過手段及びレンズ系によってテレセントリック光学系を構成したことを特徴とするものである。

【0012】対象の距離を計測するに当たり、得られた画像に含まれるぼけを比較・解析し、その量から合焦位置を求める必要がある。画像の撮影に用いる通常のカメラでは、滑らかで自然なぼけを得るために光通過手段は円形又はそれに近い形状の開口を有することが多い。しかしながら、このような形状では、ぼけ量を正確に推定することができない。特に、空間周波数の高周波領域の情報が失われることによって距離分解能が低下するとともに、距離計測後の原画像の復元も困難となる。したがって、光通過手段をぼけ量の解析が容易となるように構造化する。これによって、ぼけによる情報損失を最小限に抑制し、高精度な距離計測が可能になる。また、現存するCCDの面積やノイズ性能を考慮しても十分な性能を得ることが容易になるとともに、遠距離物体の計測も容易となる。なお、本明細書中、瞳形状とは、収縮性開口、すなわち、絞りのみでなく、収縮性を有しない任意の形状の開口も意味するものとする。

【0013】また、瞳分割のために専用の光学系を用いる必要がないので、画面中の1点又は数点に対する距離しか求めることができないという不都合がない。

【0014】画像取出し手段は、光通過手段を通過した光を、各々がほぼ同一光量の二つ以上の光に分離し、分離した光から、互いに相違する奥行きを有する対象に関する画像をそれぞれ取り出す。これによって、表面テレテクスチャの種類に依存しない解析が可能になり、かつ、逐次的なレンズ駆動を必要とせず、動物体の計測やリアルタイム計測を容易に行うことができる。

【0015】さらに、光通過手段及びレンズ系によってテレセントリック光学系を構成しているため、画像取出し手段によって取り出される複数の画像間の像倍率が等しくなる。通常的光学系では、光通過手段を主点の近辺に配置するために、像面の位置に応じて画像上の像の大きさに差異が生じる。それに対して、テレセントリック光学系では、前焦点面に光通過手段を配置することによって、光通過手段を光通過手段の中央を通過する光束は

全て像面に対して垂直に入射する。このために、像面の位置変化は画像のぼけのみを生じ、像倍率は変化しない。したがって、レンズ収差のモデリング、CCDの精密な位置合わせ、得られた画像からのノイズ除去が必要でない。また、ぼけの大きさも比較的小さいものに制限されず、遠距離物体の計測や奥行き精度の確保が容易となる。

【0016】結果として、このような光通過手段及びレンズ系によってテレセントリック光学系を構成することによって、上記不都合を生ずることなく安定かつ高精度に対象の距離計測を行うことができる。

【0017】本発明のうち請求項2記載の距離計測装置は、前記光通過手段は二つのピンホールを有することを特徴とするものである。

【0018】光通過手段が二つのピンホールを有することによって、解析を一層容易にし、計算時間を短縮することができる。

【0019】本発明のうち請求項3記載の距離計測装置は、前記画像取込み手段は、分光特性を除去するために全ての面が再蒸着されるとともに前記収束された光が第1の面に入射される第1のプリズムと、分光特性を除去するために全ての面が再蒸着されるとともに前記第1のプリズムの第2の面に第1の面を接合した第2のプリズムと、分光特性を除去するために全ての面が再蒸着されるとともに前記第2のプリズムの第2の面に第1の面を接合した第3のプリズムと、前記第1のプリズムの第2の面及び第1の面によって反射された光が入射される第1の固体撮像素子と、前記第2のプリズムの第2の面及び第1の面によって反射された光が入射される第2の固体撮像素子と、前記第1、第2及び第3のプリズムを通過する光が入射される第3の固体撮像素子とを具備、これら第1、第2及び第3の固体撮像素子の光学的配置が互いに相違するようにしたことを特徴とするものである。

【0020】このような画像取出し手段によって、物体の計測の際に逐次的なレンズ駆動を必要とせず、動物体の計測やリアルタイム計測を容易に行うことができる。また、このような画像取出し手段を、通常の3-CCD方式カラーカメラの分光プリズムブロックを加工し、各CCDの光学的配置が互いに相違するようにするだけで得ることができる。

【0021】本発明のうち請求項4記載の距離計測装置は、前記距離演算手段は、生成に基づく解析法を用いて合焦位置を求め、この合焦位置及び前記レンズ系の焦点距離に基づいて前記対象の距離を演算するようにしたことを特徴とするものである。

【0022】距離演算手段は、生成に基づく解析法を用いて合焦位置を求める。すなわち、種々の合焦位置に関する関数値を予め計算し、画像から得られた値と比較し、両者の差が最も小さいときの合焦位置を推定値とす

る。画像から直接合焦位置を求めるのは困難であるが、このように生成に基づく解析法を用いることによって合焦位置を容易に推定することができる。このようにして得られた合焦位置とレンズ系の焦点距離とを用いると、ガウスの結像公式に基づいて対象の距離を演算することができる。これについては後に説明する。

【0023】本発明のうち請求項5記載の距離計測方法は、ぼけ量の解析が容易となるように構造化した光通過手段及びこの光通過手段を通過した光を収束するレンズ系によって構成されたテレセントリック光学系を通過した光を、二つ以上の光に分離し、これら分離した光から、互いに相違する合焦位置の画像をそれぞれ取り込み、これら画像を用いて対象の距離を演算することを特徴とするものである。

【0024】このようにテレセントリック光学系を用いることによって、上記不都合を生ずることなく安定かつ高精度に対象の距離計測を行うことができる。

【0025】本発明のうち請求項6記載の距離計測方法は、前記光通過手段は二つのピンホールを有することを特徴とするものである。

【0026】光通過手段が二つのピンホールを有することによって、解析を一層容易にし、計算時間を短縮することができる。

【0027】本発明のうち請求項7記載の距離計測方法は、前記テレセントリック光学系を通過した光を三つの光に分離し、これら分離した光を、光学的配置が互いに相違する第1、第2及び第3の固体撮像素子にそれぞれ入射させることを特徴とするものである。

【0028】この場合、物体の計測の際に逐次的なレンズ駆動を必要とせず、動物体の計測やリアルタイム計測を容易に行うことができる。

【0029】本発明のうち請求項8記載の距離計測方法は、前記対象の距離を演算するに際し、生成に基づく解析法を用いて合焦位置を求め、この合焦位置及び前記レンズ系の焦点距離に基づいて前記対象の距離を演算することを特徴とするものである。

【0030】このように生成に基づく解析法を用いることによって合焦位置を容易に推定することができる。したがって、対象の距離を容易に演算することができる。

【0031】本発明のうち請求項9記載の画像復元装置は、ぼけ量の解析が容易となるように構造化した光通過手段と、この光通過手段を通過した光を収束するレンズ系と、このレンズ系によって収束された光を二つ以上の光に分離し、これら分離した光から、互いに相違する合焦位置の画像をそれぞれ取り込む画像取込み手段と、これら画像を用いて対象の距離を演算する距離演算手段と、合焦画像を復元する合焦画像復元手段とを具備、前記光通過手段及びレンズ系によってテレセントリック光学系を構成したことを特徴とするものである。

【0032】これによって高精度な距離計測が可能にな

り、その結果、ぼけのない完全な合焦画像の安定な復元が可能となる。

【0033】本発明のうち請求項10記載の画像復元装置は、前記光通過手段は二つのピンホールを有することを特徴とするものである。

【0034】光通過手段が二つのピンホールを有することによって、解析を一層容易にし、計算時間を短縮することができる。

【0035】本発明のうち請求項11記載の画像復元装置は、前記画像取込み手段は、分光特性を除去するために全ての面が再蒸着されるとともに前記収束された光が第1の面に入射される第1のプリズムと、分光特性を除去するために全ての面が再蒸着されるとともに前記第1のプリズムの第2の面に第1の面を接合した第2のプリズムと、分光特性を除去するために全ての面が再蒸着されるとともに前記第2のプリズムの第2の面に第1の面を接合した第3のプリズムと、前記第1のプリズムの第2の面及び第1の面によって反射された光が入射される第1の固体撮像素子と、前記第2のプリズムの第2の面及び第1の面によって反射された光が入射される第2の固体撮像素子と、前記第1、第2及び第3のプリズムを通過する光が入射される第3の固体撮像素子とを具え、これら第1、第2及び第3の固体撮像素子の光学的配置が互いに相違するようにしたことを特徴とするものである。

【0036】このような画像取出し手段によって、物体の計測の際に逐次的なレンズ駆動を必要とせず、動物体の計測やリアルタイム計測を容易に行うことができる。また、このような画像取出し手段を、通常の3-CCD方式カラーカメラの分光プリズムブロックを加工し、各CCDの光学的配置が互いに相違するようにするだけで得ることができる。

【0037】本発明のうち請求項12記載の画像復元装置は、前記距離演算手段は、生成に基づく解析法を用いて合焦位置を求め、この合焦位置及び前記レンズ系の焦点距離に基づいて前記対象の距離を演算するようにしたことを特徴とするものである。

【0038】このように生成に基づく解析法を用いることによって合焦位置を容易に推定することができ、したがって、対象の距離を容易に演算することができる。

【0039】本発明のうち請求項13記載の画像復元装置は、前記合焦画像復元手段は、前記合焦位置からぼけを含まない原画像の空間周波数スペクトルを求め、これをフーリエ逆変換することによって合焦画像を復元するようにしたことを特徴とするものである。

【0040】合焦画像復元手段は、合焦位置からぼけを含まない原画像の空間周波数スペクトルを求め、これをフーリエ逆変換することによって原画像を復元する。したがって、単に合焦領域を統合しているのではなく、信号処理的に画像を複合しているため、画像取込み手段に

よって取り出された画像のうちのいずれもが合焦していない場合でも、全焦画像を得ることができる。

【0041】本発明のうち請求項14記載の画像復元方法は、ぼけ量の解析が容易となるように構造化した光通過手段及びこの光通過手段を通過した光を収束するレンズ系によって構成されたテレセントリック光学系を通過した光を、二つ以上の光に分離し、これら分離した光から、互いに相違する合焦位置の画像をそれぞれ取り込み、これら画像を用いて対象の距離を演算するとともに合焦画像を復元することを特徴とするものである。

【0042】これによって高精度な距離計測が可能になり、その結果、ぼけのない完全な合焦画像の安定な復元が可能となる。

【0043】本発明のうち請求項15記載の画像復元方法は、前記光通過手段は二つのピンホールを有することを特徴とするものである。

【0044】光通過手段が二つのピンホールを有することによって、解析を一層容易にし、計算時間を短縮することができる。

【0045】本発明のうち請求項16記載の画像復元方法は、前記テレセントリック光学系を通過した光を三つの光に分離し、これら分離した光を、光学的配置が互いに相違する第1、第2及び第3の固体撮像素子にそれぞれ入射させることを特徴とするものである。

【0046】この場合、物体の計測の際に逐次的なレンズ駆動を必要とせず、動物体の計測やリアルタイム計測を容易に行うことができる。

【0047】本発明のうち請求項17記載の画像復元方法は、前記対象の距離を演算するに際し、生成に基づく解析法を用いて合焦位置を求め、この合焦位置及び前記レンズ系の焦点距離に基づいて前記対象の距離を演算することを特徴とするものである。

【0048】このように生成に基づく解析法を用いることによって合焦位置を容易に推定することができ、したがって、対象の距離を容易に演算することができる。

【0049】本発明のうち請求項18記載の画像復元方法は、前記原画像を復元するに際し、前記合焦位置からぼけを含まない合焦画像の空間周波数スペクトルを求め、これをフーリエ逆変換して前記合焦画像を復元することを特徴とするものである。

【0050】したがって、取り出された画像のうちのいずれもが合焦していない場合でも、全焦画像を得ることができる。

【0051】

【発明の実施の形態】本発明による距離計測装置及び方法並びに画像復元装置及び方法を、図面を参照して詳細に説明する。図1は、本発明による距離計測装置を示す図である。この距離計測装置は、光通過手段としての開口マスク1と、開口マスク1から入射された光を収束するレンズ系2と、光学的配置が互いに相違するようにし

たCCD3, 4, 5と、図示しない距離演算手段としての演算部とを具える。

【0052】開口マスク1は、ぼけ量の解析が容易となるように構造化された符号化開口形状（瞳形状）を有する。具体的には二つのピンホール6及び7を有する。レンズ系2は、凸レンズ8、凹レンズ9及び凸レンズ10を有する。

【0053】図示しない演算部は、CCD7, 8, 9から取り込んだ画像に基づいて、合焦位置を推定する。この動作については後に詳細に説明する。

【0054】開口マスク1及びレンズ系2は、CCD7, 8, 9によって得られる3枚の画像について、その間の像倍率が等しくなるテレセントリック光学系を構成する。通常の光学系の場合、図2Aに示すように、絞り11をレンズ系12の主点の近辺に配置するために、CCD13及び14の位置変化に応じて倍率が変化する。それに対して、テレセントリック光学系の場合、図2Bに示すように、絞り15をレンズ系16の前焦点面に配置することによって、絞り15の中央を通過する光束は全てCCD17及び18に対して垂直に入射する。このために、CCD17及び18、すなわち、像面の位置変化は画像のぼけのみを生じ、像倍率は変化しない。これによって、対象までの距離が一定の場合、ぼけ減少は位置不変のカーネルの折り畳み演算として表現することが可能となり、解析が簡単化される。

【0055】このような距離計測装置を用いて距離を計測するためには、得られた画像に含まれるぼけを比較・解析し、その量から合焦位置を求める必要がある。画像の撮影に用いる通常のカメラでは、滑らかで自然なぼけを得るために、瞳形状は円形又はそれに近い形状の開口を有することが多い。しかしながら、このような瞳形状では、ぼけの発生に従い高周波成分のゲインが単調に減少するだけであり、その量的な解析からぼけの大きさを推定せざるを得ない。また、高周波成分が失われることによって原画像の復元も困難になる。したがって、瞳形状を、解析が容易となるように構造化し、それに適合する解析手法を開発する必要がある。

【0056】瞳形状としては、以下のような条件を満たすものが求められる。

1. 周波数特性の構造から容易にぼけの大きさが求められること。
2. ぼけの大きさに関係なく高周波領域のゲインが全体的に落ち込まないこと。
3. 十分な光量が通過するような開口面積を有すること。

ここで重要なことは、複数配置した撮像面から互いに相違するぼけ量を有する画像が得られるので、局所的には構造化された瞳形状のゲイン特性に零点が含まれていてもよいことである。むしろ零点を周期的に設けるなどゲイン特性を構造化することによってぼけ量の解析にパタ

ーン照合などの手法を用いることが可能となり、距離計測の精度を大幅に向上させることができる。

【0057】図3は、距離計測装置に用いられる多重フォーカスカメラの一部を示す図である。この多重フォーカスカメラは、図示しない符号化開口マスクと、図1のレンズ系2に対応するレンズ19と、プリズム20, 21, 22と、図1のCCD3, 4, 5に対応するCCD23, 24, 25とを具える。これらプリズム20, 21, 22の全ての面は、分光特性を除去するために再蒸着されている。この場合、CCD23, 24, 25の光学的配置が互いに相違するように、プリズム20の第1面26からCCD23までの光路長を、プリズム20の第1面26からCCD24までの光路長に比べて1mm短くするとともに、プリズム20の第1面26からCCD25までの光路長を、プリズム20の第1面26からCCD24までの光路長に比べて1mm長くする。

【0058】プリズム20の第2面27にプリズム21の第1面28を接合するとともに、プリズム21の第2面29にプリズム22の第1面30を接合し、CCD23, 24, 25への入射光をそれぞれ、レンズ19からプリズム20の第1面26への入射光の1/3とする。

【0059】このように各CCD23, 24, 25を像面と垂直方向にずらすことによって、合焦位置の互いに相違する3枚の画像を同時に取り込むことができる。また、このような多重フォーカスカメラを、通常の3-CCD方式カラーカメラの分光プリズムブロックを加工し、各CCDの光学的配置が互いに相違するようにするだけで得ることができる。

【0060】これまで、多重フォーカスカメラにテレセントリック光学系及び符号化開口（瞳形状）を統合した手法は全く提案されていない。しかしながら、これらの三つを同時に用いることによって初めて、後に説明するような高性能を得ることができる。

【0061】次に、多重フォーカスカメラによって得られた3枚の画像を解析することによって、対象上の各点（これらを $x, y$ 座標系で表す。）までの距離を計測する手法を、理解を容易にするために図2B及び4を用いて説明する。なお、図4において、光通過手段を、二つのピンホール31, 32を有する開口マスク33で示し、レンズ系を凸レンズ34で示し、画像取出し手段をCCD35, 36, 37で示す。なお、テレセントリック光学系を構成するために、開口マスク33を凸レンズ34の前焦点面に配置する。

【0062】図2Bに示すテレセントリック光学系において、絞り15を絞り込み、これに中心光束のみを通過させたときに得られるぼけを含まない画像を $s(x, y)$ とする。この画像 $s(x, y)$ は、撮像面の位置に関係なく同一である。また、絞り15の瞳形状を $a(x, y)$ とし、得られる画像を $i(x, y)$ とすると、これらの関係は以下の式で表される。

【数1】

$$i_m(x, y) = \frac{1}{k_m^2} a\left(\frac{x}{k_m}, \frac{y}{k_m}\right) * s(x, y)$$

【0063】このように、フォーカシングによる画像の変化が単に原画像に対するぼけカーネルの畳み込みで表現されている点が、通常の光学系の代わりにテレセントリック光学系を用いる数学的な根拠である。ここで、ぼけカーネルは瞳形状と相似の図形であり、その比率 $k_m$  ( $m = 1, 2, 3$ )は、レンズ34から対象の点Pまでの距離を $u$ とし、レンズ34の焦点距離を $f$ とし、レンズ34の合焦位置を $v$ とし、レンズから各CCDまでの位置を $w_m$ とすると、比率 $k_m$ は、図4から以下のように表すことができる。

【数2】

$$k_m = \frac{u}{u-f} \cdot \frac{v-w_m}{v}$$

【0064】ここで、ガウスの結像公式

【数3】

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

を用いて距離 $u$ を消去すると、比率 $k_m$ は、

【数4】

$$k_m = \frac{v-w_m}{f}$$

のようになる。すなわち、二つのピンホールを有する距離計測装置によるぼけの周波数特性のゲインは $\cos$ 関数の絶対値で表され、その周期はぼけ量によって決定される。

【0067】また、【数7】が実関数であることから、位相成分は0又はのいずれかである。これらから二つのピンホールを有する距離計測装置は、上記条件1及び2を満足することがわかる。ぼけ画像が複数枚得られるので、これらから求めたスペクトル分布に適切な重み付けを行うことによって、距離計測及び後に説明する完全合焦画像復元の双方において零点の存在も問題にならない。

で表される。【数4】から、比率 $k_m$ は、合焦位置 $v$ と各CCDの位置 $w_m$ の差に線形な値であることがわかる。当然、合焦位置 $v$ が求められると、距離 $u$ は【数3】から求められる。合焦状態、すなわち、 $v = w_m$ のときは $k_m = 0$ となり、この際、ぼけカーネルはデルタ関数となる。当然、 $i_m(x, y) = s(x, y)$ 、すなわち、ぼけのない画像が観測される。

【0065】【数1】で表されるぼけの成形過程は、瞳形状に無関係に成立する性質である。ここで、瞳形状 $a(x, y)$ を設定すると、観測された画像 $i_m(x, y)$ から合焦位置 $v$ と完全合焦画像 $s(x, y)$ を求めることができる。

【0066】図4に図示した瞳形状に起因するぼけカーネルは、

【数5】

$$a(x, y) = \frac{1}{2}(\delta(x-\alpha, y) + \delta(x+\alpha, y))$$

によって表される。ここで、 $\delta(x)$ はDiracの関数である。これを【数1】に代入すると、

【数6】

$$i_m(x, y) = \frac{1}{2}(\delta(x-\alpha k_m, y) + \delta(x+\alpha k_m, y)) * s(x, y)$$

となる。これを $x$ 軸方向に1次元フーリエ変換すると、

【数7】

$$\begin{aligned} I_m(s, y) &= \frac{1}{2}(e^{2\pi j \alpha k_m s} + e^{-2\pi j \alpha k_m s}) \cdot S(s, y) \\ &= \cos(2\pi \alpha k_m s) \cdot S(s, y) \end{aligned}$$

【0068】なお、通常の円形開口の場合には、ぼけ量が増加するに従って周波数特性の高周波成分を低減させるローパスフィルタの機能を有するが、瞳形状を構造化することによって、ぼけの周波数特性を構造化できることがわかる。

【0069】このような距離計測装置では、複数の互いに相違するぼけ量に関する画像が同時に得られる。これらの $x$ に関する1次元フーリエ変換をそれぞれ $I_m(s, y)$ とすると、

【数8】

$$I_m(s, y) = \cos(2\pi\alpha \frac{v - w_m s}{f}) \cdot S(s, y)$$

となる。ここで、各像面の位置を $w_m$ とし、 $S(s, y)$ を、(ぼけを含まない)完全合焦点の空間周波数スペクトルとする。これは未知であるが全ての画像面に関

$$r_{mn}(v) = \sum_s \left| \frac{I_m(s, y)}{I_n(s, y)} - \frac{\cos(2\pi\alpha \frac{v - w_m s}{f})}{\cos(2\pi\alpha \frac{v - w_n s}{f})} \right|$$

を最小にする $v$ を求めればよい。しかしながら、第1項は、複素数の値である入力画像のフーリエ変換から求められる値であり、これを用いて合焦位置 $v$ を直接求めるのは困難であるので、生成に基づく解析法を用いる。この処理の流れを図5に示す。まず、入力画像 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ の各々の1走査ライン上から処理すべき画像を取り出し、ブラックマンウィンドウ処理を行う。次に、 $x$ に関する1次フーリエ変換を行い、得られたスペクトルの除算を、隣接する画像面間について空間周波数 $s$ ごとに行う。

【0070】この場合、3枚の画像面を有するので、分母分子を入れ替えた全ての組合せ、すなわち、 $r_{12}r_{21}$ 、 $r_{23}r_{32}$ の総和を求める。【数9】は除算を含むが、実際には重み付け和を計算することで周波数応答の零点に関する問題を解決している。重み付けには、分母に用いる $I_n(s, y)$ の絶対値を利用している。また、重み付け係数の和が閾値に達しない場合、その領域には十分なテクスチャが含まれていないので、距離計測が不可能であると判定する。当然、距離 $u$ は、生成に基づく解析法によって求めた合焦位置 $v$ と【数3】から求められる。

【0071】図6に、【数9】の第2項に互いに相違する合焦位置 $v_1$ 、 $v_2$ を代入した場合の差の総和を示す。図示したように、 $v_1 = v_2$ の周辺で非常に急峻な谷状の評価値が得られ、それ以外の位置では均等な残差であることから、高精度に距離算出を行うことが可能であることがわかる。

【0072】本実施の形態によれば、多重フォーカスカメラを用いることによって、機械的な駆動部分を有することなく実時間計測が可能になる。また、開口マスクが、ぼけ量の解析が容易となるように光を通過させる構造を有するので、瞳形状に起因するぼけ減少を効率的に処理することができる。さらに、開口マスク及びレンズ系によってテレセントリック光学系を構成する、すなわち、開口マスクをレンズ系の前焦点面に配置することによって、上記不都合を生ずることなく安定かつ高精度に対象の距離計測を行うことができる。

して共通である。したがって、【数8】を互いに除算することによってこの項を消去する。例えば、 $I_m(s, y)$ を分子にとるとともに $I_n(s, y)$ ( $n$ を、 $m$ とは異なる1~3のうちのいずれかの整数とする。)を分母にとる場合には、

【数9】

【0073】次に、距離計測装置を用いた画像復元装置について説明する。この場合、画像復元装置は、図1に図示したような距離計測装置の構成要素(演算部を含む。)の他に、合焦画像を復元する合焦画像復元手段としての画像復元部(図示せず)を有する。

【0074】実際に画像を入力するためには、開口面積は有限の値である必要がある。しかしながら、これまでの説明ではピンホールの直径を無視しており、各ピンホールの直径に起因するぼけの効果は含まれていない。そこで、実際の計算ではこの効果を考慮して、【数7】で表されるぼけ画像のスペクトル応答に $\text{sinc}$ 関数を乗じ、

【数10】

$$I(s, y) = \cos(2\pi\alpha ks) \cdot \text{sinc}(\beta ks) \cdot S(s, y)$$

としている。ここで、 $\beta$ を、ピンホールの直径によって決定される値とし、これは、 $\alpha$ より著しく小さいので、 $\text{sinc}$ 関数の周期は $\cos$ 関数の周期より小さい。また、 $\beta = 0$ としたときは、理想的なピンホールの場合である。計算に用いる $\beta$ の値を、 $\alpha$ と合わせて瞳形状の寸法から求めた。【数9】の第2項を予めテーブル化しておくことによって高速化を図っているので、この計算はテンプレート生成時に行えばよい。

【0075】完全合焦画像を復元するためには、求められた距離 $v$ を用いて、

【数11】

$$S(s, y) = \frac{I_m(s, y)}{\cos(2\pi\alpha \frac{v - w_m s}{f})}$$

を求め、そのフーリエ逆変換を行えばよい。当然、全ての $m$ について $S(s, y)$ は共通であるので、【数11】の分母の絶対値を重み付けとして $m$ に関する平均を求めることによって、ぼけの周波数応答に零点が含まれる場合にも正しく完全合焦画像が復元される。



【0076】次に、実際の計測によって得られた距離マップと、ぼけを含まない完全合焦画像とを示す。図7～9は、距離計測装置によって得られた3枚の画像である。これらから、互いに相違するぼけ量に関する画像が得られていることがわかる。背景の文字については、これらのどの画像も完全に合焦していないことがわかる。図10は、既に説明したようにして復元された完全合焦画像である。

【0077】図11は、計算によって得られた対象の3次元形状及び完全合焦画像である。これによれば、背景の平面の部分と、手前の時計の立体的な形状と、その間の距離が計測されていることがわかる。距離マップのうち、白く抜けている部分は、全ての対象に手掛かりとなる模様等が全く含まれていない部分である。

【0078】図12及び13は、入力画像のうち中央のCCDによって撮影された画像の一部を拡大したものと及び完全合焦画像の一部を拡大したものをそれぞれ示す。写真Fでは、手前の時計と背景の文字の双方をはっきりと見ることができる。単に合焦領域を統合しているのではなく、信号処理的に画像を復元しているため、入力画像のいずれもが合焦していない場合でも完全合焦画像を得ることができる。平面に同様の文字テキストを配した対象について計測した実験では約1.1mm離れた対象に対して奥行き値の標準偏差は約1.2mmであった。また、計算時間は、DEC Alpha 400MHzを使用して距離計算に約30秒、完全合焦画像の復元に約20秒を要した。

【0079】本実施の形態によれば、像の情報が失われにくく、ぼけのない完全な合焦画像の安定な復元が可能となる。

【0080】次に、本発明による画像復元装置を距離画像センサに適用した場合について説明する。このような画像復元装置は、通常のテレビカメラと同様に対象を撮影することによって、対象の3次元形状と、ぼけを含まない全焦点画像を得ることを目的とする。図14Aに示すように、矢印A方向にフォーカシングを行う通常のカメラ38によって撮影された合焦点39に関する画像40は、対象41の奥行きに関する情報がぼけ42として対象41の像に内包されており、このぼけ42を画像40から分離することは困難である。

【0081】それに対して、本発明による画像復元装置を適用した距離画像センサ43は、図14Bに示すように、対象44の全焦点画像45と距離画像46とを分離して取り出すことができる。本来、距離画像46は、測量・計測分野や工業的自動化などに利用されてきたが、同時に全焦点画像45を取得することによって、コンピュータグラフィックス(CG)画像と実写画像を合成したCG合成画像47や立体視テレビジョン等のマルチメディア分野での応用が特に期待される。

【0082】このような距離画像センサ43の場合、機

械的駆動部分なしに計測を行うことによって、計測に要する時間は、通常のカメラ38と同等の約1/30秒になる。これによって動物体の計測を可能にする。また、レーザ光等の投影を一切行わずに計測を行うことによって、一般生活環境や屋外環境においても計測を可能とする。これらは、マルチメディア分野で利用する際に必要な性能である。

【0083】本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、幾多の変更及び変形が可能である。例えば、上記実施の形態では、光通過手段が、二つのピンホールを有する場合についてのみ説明したが、ぼけ量の解析が容易となるように他の任意の構造を有するようにしてもよい。

【0084】また、レンズ系として、凸レンズ、凹レンズ及び凸レンズを順に配置した場合及び単一の凸レンズで構成した場合についてのみ説明したが、他の任意のレンズ系を用いることもできる。

【0085】また、入射光を三つに分離する場合について説明したが、それ以外の複数の光に分離する場合にも適用することができる。上記実施の形態で説明したCCDの光学的配置以外のものを採用することもできる。

【0086】さらに、本発明による画像復元装置を距離画像センサに適用した場合について説明したが、これを、工業用レンジファインダ、立体視用テレビカメラ、防犯監視システム等の3次元画像計測を行う工業分野及び画像メディア分野に適用することができる。工業用レンジファインダは、部品等の位置・向き計測や種類の認識を行うものであり、ロボットによる部品の把持等に利用される。立体視用テレビカメラによれば、得られた距離画像を計算機によって処理することで立体視に必要な両眼視差画像を生成することができる。防犯監視システムによれば、人物の像のみならず、空間中の人物の位置や動作を認識することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による距離計測装置を示す図である。

【図2】通常の光学系及びテレセントリック光学系を示す図である。

【図3】本発明による距離計測装置に用いられる多重フォーカスカメラの一部を示す図である。

【図4】二つのピンホールを有するテレセントリック光学系を示す。

【図5】距離推定処理の流れを示す図である。

【図6】互いに相違する合焦位置 $v_1$ 、 $v_2$ に対する周波数特性の残差の総和を示す図である。

【図7】距離計測装置によって得られた第1の画像である。

【図8】距離計測装置によって得られた第2の画像である。

【図9】距離計測装置によって得られた第3の画像である。

【図10】復元された完全合焦画像である。

【図11】計算によって得られた対象の3次元形状及び完全合焦画像である。

【図12】入力画像のうち中央のCCDによって撮影された画像の一部を拡大したものである。

【図13】完全合焦画像の一部を拡大したものである。

【図14】通常のカメラ及び本発明による画像復元装置を適用した距離画像センサについて説明するための図である。

【符号の説明】

- 1, 33 開口マスク
- 2, 12, 16 レンズ系
- 3, 4, 5, 23, 24, 25, 35, 36, 37 CCD
- 6, 7, 31, 32 ピンホール
- 8, 10, 34 凸レンズ
- 9 凹レンズ
- 19 レンズ
- 20, 21, 22 プリズム
- 26, 28, 30 第1面
- 27, 29 第2面
- 38 通常のカメラ
- 39 合焦点

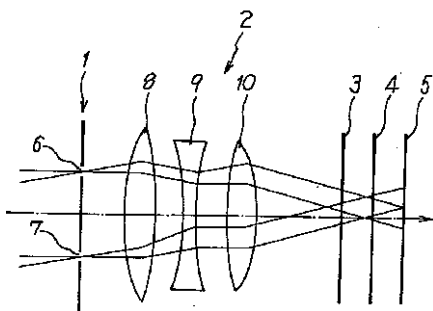
- 40 画像
- 41, 44 対象
- 42 ぼけ
- 43 距離画像センサ
- 45 全焦点画像
- 46 距離画像
- 47 CG合成画像
- f レンズ34の焦点距離
- I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub> 入力画像
- P 対象の点
- u レンズ34から対象の点Pまでの距離
- v レンズ34の合焦位置
- w<sub>1</sub>, w<sub>2</sub>, w<sub>3</sub> レンズ34から各CCDまでの位置

【要約】

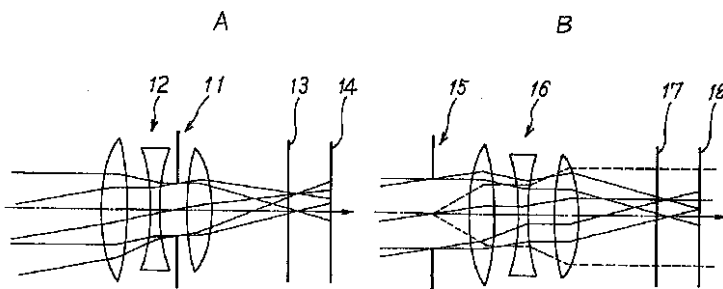
【課題】 安定かつ高精度に対象の距離計測を行う。

【解決手段】 開口マスク1は、ぼけ量の解析が容易となるように構造化された符号化開口(瞳)形状として二つのピンホール6及び7を有する。演算部は、CCD7, 8, 9から取り込んだ画像に基づいて、合焦位置を推定する。開口マスク1及びレンズ系2は、CCD7, 8, 9によって得られる3枚の画像について、その間の像倍率が等しくなるテレセントリック光学系を構成する。

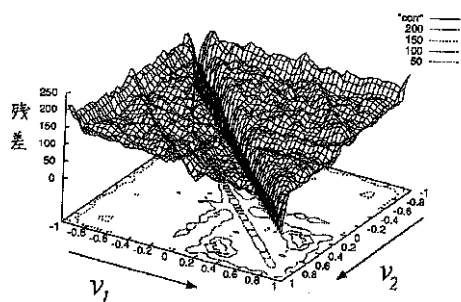
【図1】



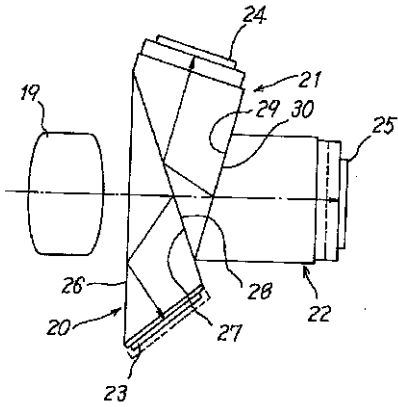
【図2】



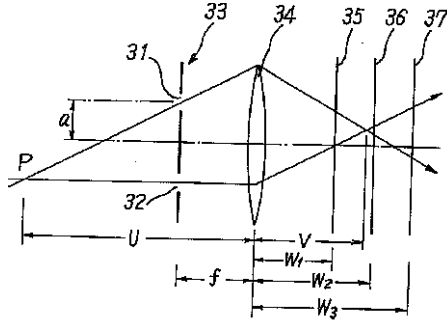
【図6】



【図3】

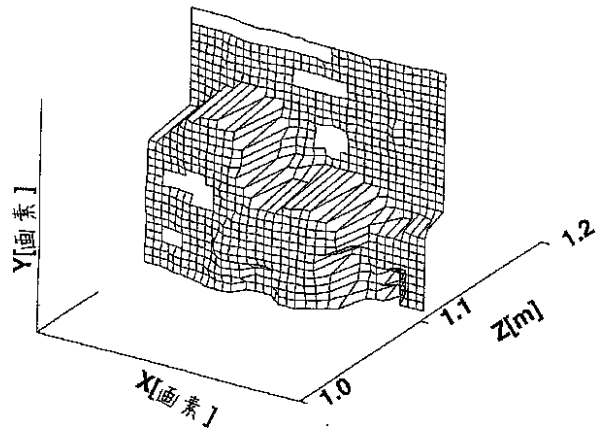
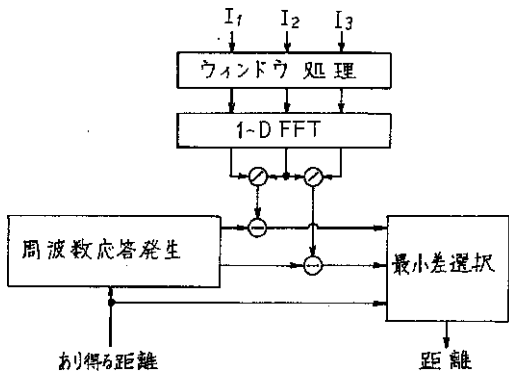


【図4】



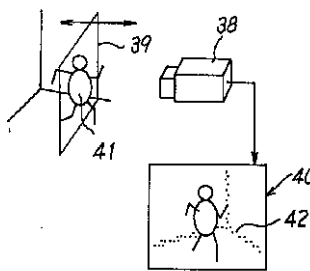
【図11】

【図5】

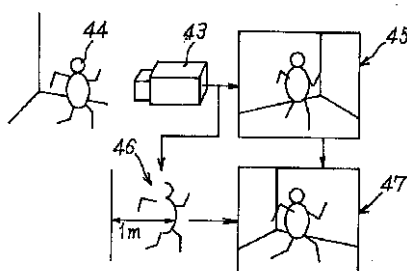


【図14】

A

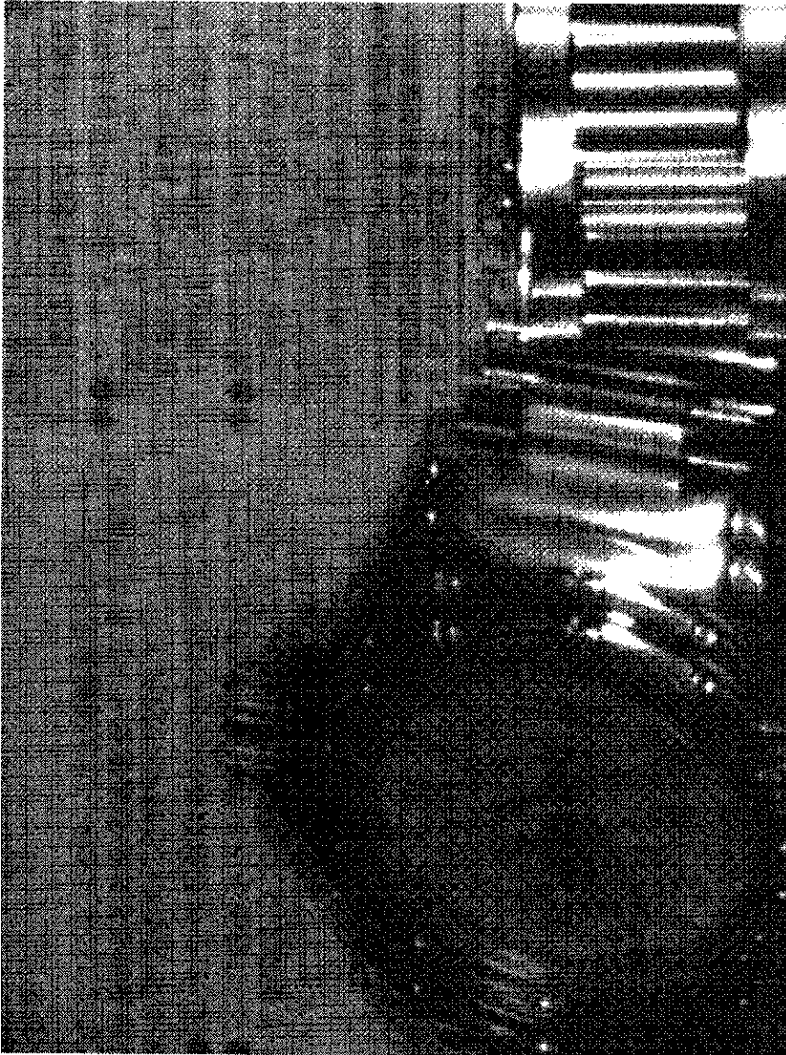


B



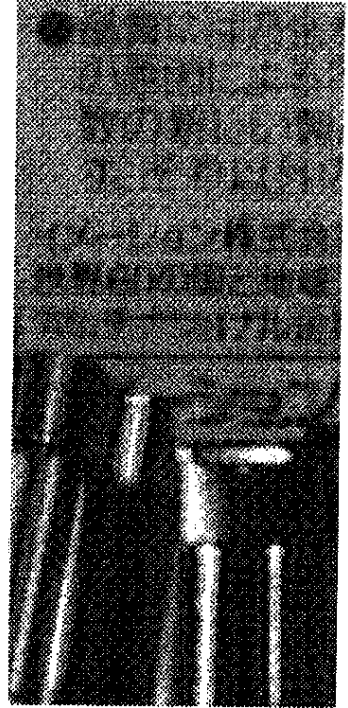
【図7】

図面代用写真



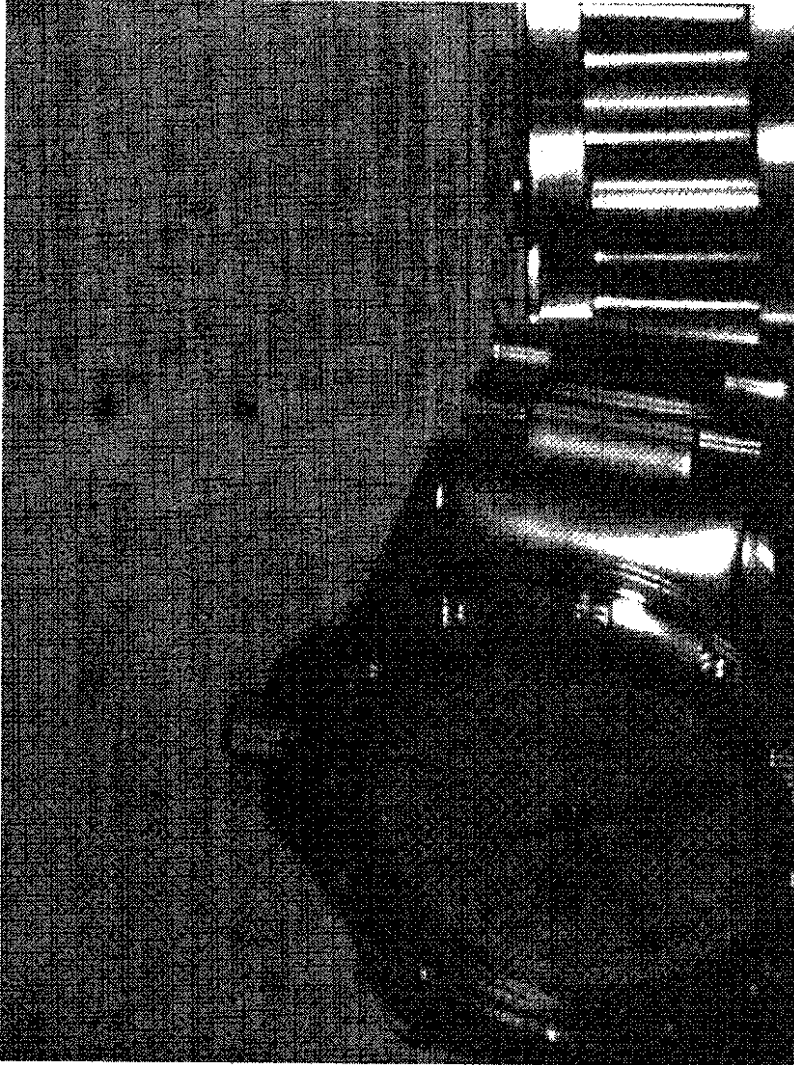
【図13】

図面代用写真



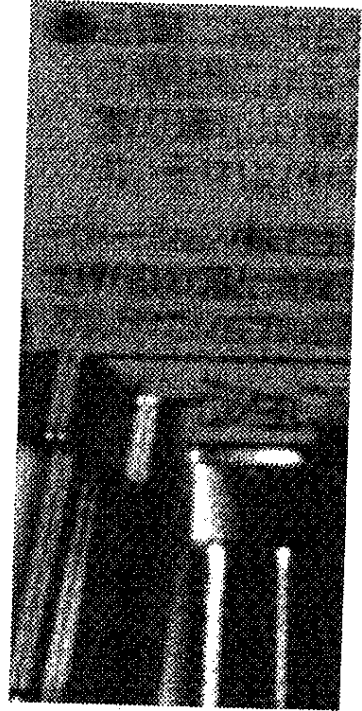
【図8】

図面代用写真



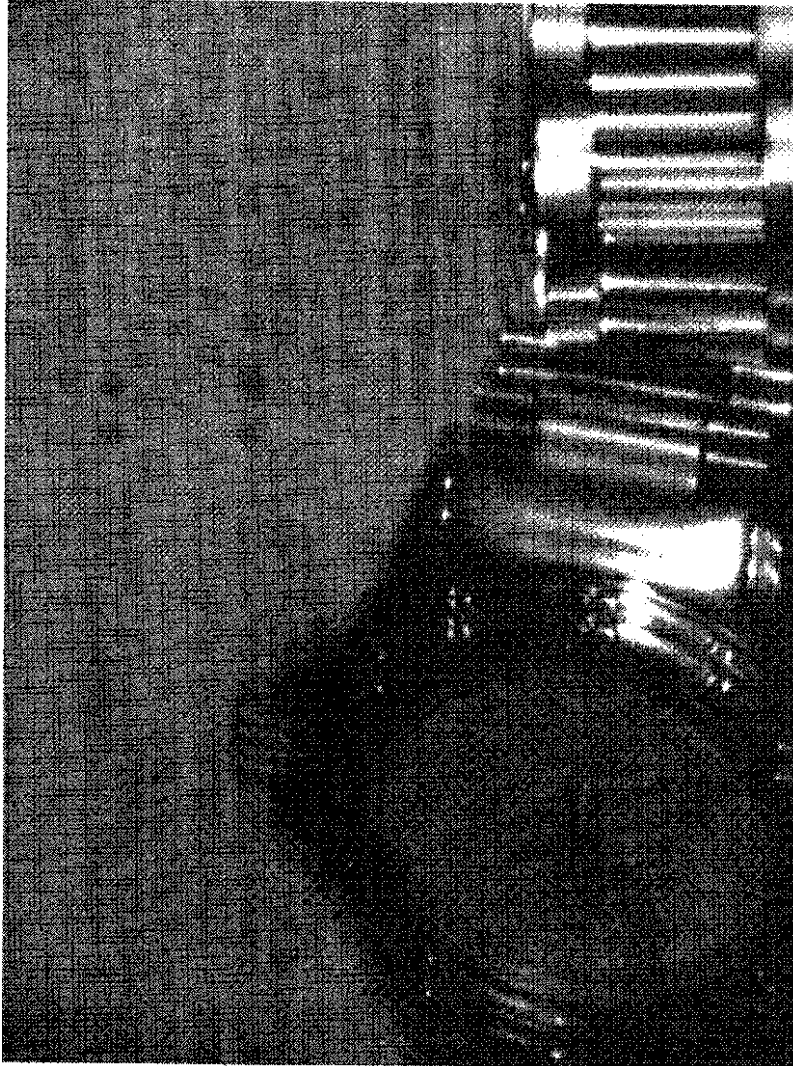
【図12】

図面代用写真



【図9】

図面代用写真



【図10】

図面代用写真

