

可変焦点ミラーを用いた三次元画像取得システム

○北川 耕平 玉井 俊規 平井 慎一 石井 明(立命館大学)

A 3-D Image Acquisition System Using a Varifocal Mirror

Kouhei KITAGAWA Tosinori TAMAI Shinichi HIRAI Akira ISHII
Ritsumeikan University, 1-1-1 Noji-higashi, Kusatu-shi, Shiga 525-8577

This paper describes a 3-D image acquisition system using a constant-magnification focusing mechanism, which consists of a telecentric lens and a varifocal mirror actuated by a PZT actuator. It is necessary to acquire high-contrast images on every shift focus to acquire a good-quality 3-D image. The deformed surface of a varifocal mirror should be spherical in order to obtain high-contrast images. The mirror is attached on a side of a stainless steel tube containing silicone oil. Applying a force to the other side by a PZT actuator, we have a spherical surface of the mirror. We have successfully captured high-contrast images in the video-frame rate to synthesize a 3-D image.

Key Words: Varifocal Mirror, Telecentric Lens, Focusing, Magnification, 3-D Image, PZT Actuator

1. はじめに

電子機器の薄型化, 小型化が進むにつれ高密度実装型対応の半導体パッケージが開発されている. 現在半導体パッケージングとして, BGA(Ball Grid Array), そしてさらに小型化した CSP(Chip Size Package)が多く用いられている. このようなパッケージに対応し, 検査項目のニーズの多様化, 検査の高精度化が求められている.

しかしながら現在は, このような微細な部品や製品の位置決めや検査に対して, 顕微鏡や内視鏡のような拡大光学系が用いられている場合が多い. この拡大光学系では倍率が高くなるほど被写界深度が浅くなり, ある奥行きに物体に焦点を合わせると異なる奥行きでは焦点が合わなくなり被写界深度が制限される. そのため複雑な3次元形状のすべての位置に被写界を合わせることが困難な場合が多い.

本研究は PZT 積層型アクチュエータを精密制御する可変焦点ミラーを用いてリアルタイムに微小物体の立体構造を取得する事を目的とする.

2. 制御

2.1 機器の構成

本研究におけるシステム構成を Fig.1 に示す. 本件システムは主に可変焦点ミラーを含む駆動系, 定倍率画像を得るためのテレセントリック光学系, 撮像素子(CCD), および画像処理部から構成される. また可変焦点ミラーにはシリコンオイルを封入したステンレス管を接合している. ミラーを直接押した場合アクチュエータと接触しているミラーの一部に力が集中するため, ミラー曲面が球面を形成しない. オイルを間にはさむことは, それにより力を分散させミラー曲面を球面に近づけるためのものである.

2.2 制御目標

本研究ではビデオフレームレートである 30fps で

画像を取得することを目標としている. よって, 33ms 以内にミラーを静定させ, また連続して目標となる焦点移動量を獲得することを目標とする.

PZT 積層型アクチュエータの圧電定数を d , 電界強度を E , 素子1枚の厚みを t , 積層枚数を n とする. このとき変位 δ は一般的に

$$\delta = dEtn \quad (1)$$

で求められる. しかし, 圧電定数はアクチュエータにかかる電圧により複雑に変化するものであり, 一定の値ではない. よって変位を計測し, 制御モデルとなる式を求めることにした. 5秒ごとに 12V 印加電圧を増加させ, 最大駆動電圧である 600V まで印加し, 各電圧における変位を測定した. PZT アクチュエータへの印加電圧を V としたとき求められた変位 δ の導出式を式(2)に示す.

$$\delta = 1.262V^3 + 0.00168V^2 + 0.0292V \quad (2)$$

式(2)の逆関数より, 変位 δ に対する印加電圧 V を求める. PZT アクチュエータ及びドライバを含めたシステムを等価 RC 回路で表し, その時定数を Ta とする. PZT アクチュエータの駆動においては, 変位 δ に対する印加電圧 V を式(2)より求め, 求められた電圧 V の α 倍を時間 Ta 印加する. ここで α は 1 以上の定数である. 電圧 V の α 倍を加えることにより, クリープの発生を減少させる. 本研究では, $\alpha=1.3$, $Ta=1.4ms$ とした. PZT アクチュエータは駆動させた場合バネ系として考えられる. 同様にシリコンオイルを封入したステンレス管はダンパ成分が非常に微小であるので, バネ系であると考えられる. よって, 駆動系は力学的にはバネ-マス系であると考えられる. ダンパの要素が微小なため, 振動した場合ミラーに外力が加わらない限り 33ms 以内に収束することが不可能となる. クリープの発生を最小限に抑えるのは, それによる振動を抑えるためである.

3. 画像取得

3.1 定倍率可変焦点合わせ機構

本研究では複数枚の画像を合わせて 3次元画像を

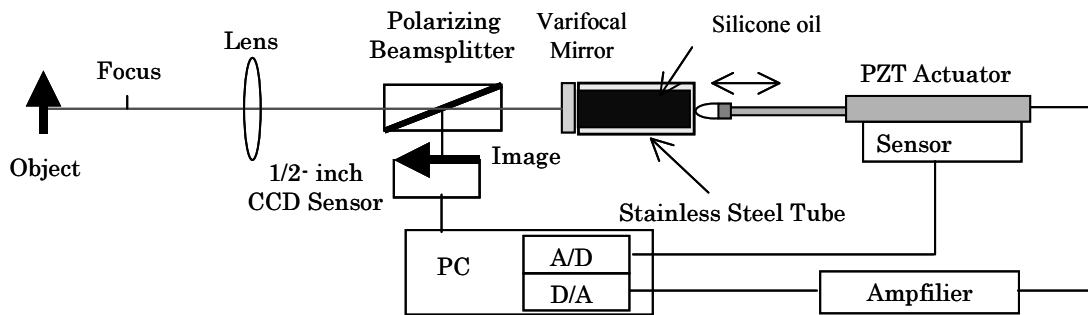


Fig.1 Construction of a 3-D image acquisition system using a varifocal mirror

結像する。よって、画像の倍率が一定であれば大変有利である。そのため Fig.1 に示すテレセントリック光学系を基礎にした定倍率可変焦点機構を使用した。このテレセントリック光学系の有用性はすでに証明されている[1]。

3.2 焦点移動量の検出

焦点の移動量と PZT アクチュエータの移動量との関係式を得るために以下の実験を行った。ミラーを変形させることにより焦点を移動させる。そして、対象物の位置を移動させることにより、合焦点の最も高い点を探し、その点と元の焦点との距離を焦点移動量とした。Fig.2 に関係を表したグラフを示す。

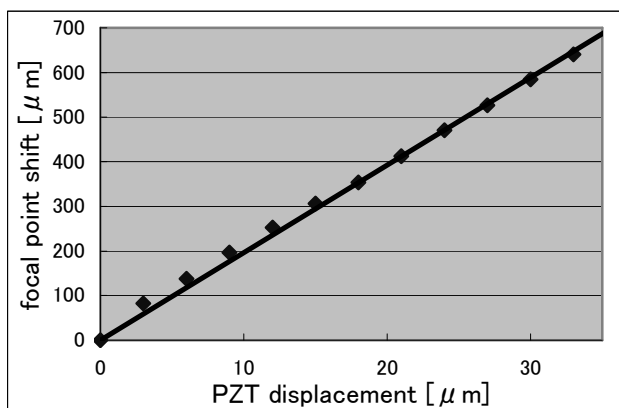


Fig.2 a relation between PZT displacement and focal point shift

合焦点とは画像に対してフィルタリング処理を行い、コントラストの差を定量化したものである。このとき合焦点検出オペレータは以下の条件を満たす必要がある。

1. 画像の高周波成分に敏感な反応をする。
2. 合焦点に近づくにしたがって単調増加あるいは単調減少し、合焦点において最大の信号を出力する。
3. フォーカス移動の際に得られる合焦点波形が合焦点付近でガウス関数に似た波形を示す。

この条件を満たすために本研究では合焦点を算出するための合焦点オペレータとして既知の 8 近傍変形二次微分フィルタを用いた[2]。

合焦点オペレータをかけて得られる合焦点はばらつきが大きい。これは照明のような低周波成分にも

反応しているためである。そのため、8 近傍変形二次微分フィルタをかけて得られた値に対して、窓枠平均化処理を行い、ノイズを低減して安定した合焦点を求めた。この合焦点が高ければ高画質であるといえる。本実験では焦点を移動させた後も初期画像の合焦点の 90%以上を保つことができた。

3.3 3次元画像への合成

まず、ミラーの焦点距離を変化させずに計測物体の画像を 1 枚取得する。その画像に対して、合焦点検出を行なう。次にミラーの焦点距離を一定間隔で変化させる。1 枚目と同じく画像を取得し、合焦点検出を行なう。1 枚目の画像から得られた合焦点と 2 枚目の画像から得られた合焦点を比較し、合焦点の高い方の合焦点とその画素における輝度値を得る。この手順を 10 回繰り返し、焦点距離 10 段階での合焦点が最も高い画素での輝度値を画像として取得する。それにより、焦点距離を 10 段階で取得した全焦点画像を得た。

4. 終わりに

PZT 積層型アクチュエータを用いた可変焦点ミラーによる 3 次元画像取得システムを構築し、実際にビデオフレームレートでの画像取得を実現し、全焦点画像を得た。しかし PC ベースでは画像処理が遅く、リアルタイムで全焦点画像を得ることはできなかった。これを解決するためには PC のようにシリアル処理ではなく、FPGA などのパラレル処理ができるハードが必要となる。よって、この画像処理プログラムを FPGA 上に実装し、画像処理を並列化することによりよりいっそうの高速化をはかる。

参考文献

[1] Akira Ishii, Susumu Sugiyama, Jun-ichi Sakai, Ahinichi Hirai, and Toshinori Ochi : Constant-magnification focusing using a vari focal mirror and its application to 3-D imaging ; Proc. of SPIE, Vol.4902, pp.238-245,2002
 [2] S.K.Nayer, and Y.Nakagawa : Shape from focus ; IEEE PAMI, Vol.16, No.8, pp.824-831,1994