

# 可変焦点ミラーを用いた全焦点画像取得システム

○ 玉井俊規, 北川耕平, 平井慎一, 石井明 (立命館大学)

## Entirely focused image acquisition systems that used the varifocal mirror

○Toshinori TAMAI, Kouhei KITAGAWA, Shinichi HIRAI, Akira ISHI

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. The deformed surface of a varifocal mirror must be spherical in order to obtain high-contrast images. We have successfully captured high-contrast images in the video-frame rate to synthesize a 3-D image.

### 1 緒言

電子機器の薄型化, 小型化が進むにつれて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), そしてさらにこれを小型化した CSP(Chip Size Package) が多く用いられている. このようなパッケージングに対応し, 検査項目のニーズの多様化が求められている.

現在, 半導体の分野では微細な部品の位置決めや検査には顕微鏡や内視鏡のような拡大光学系が用いられている. しかし, この拡大光学系は倍率が高くなるほど被写界深度が浅くなるため, 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る. そのため複雑な 3 次元形状の全ての位置に被写界を合わせることは困難な場合が多い.

本研究は PZT 積層型アクチュエータを用いた可変焦点ミラー機構を構築し, 微小物体の全焦点画像をリアルタイムで取得することを目的としている.

### 2 実験装置

#### 2.1 システム構成

Fig.1 にシステム構成図を示す. 本研究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.

撮像レンズの後方に設置されたミラーの曲率を変化させることで常に一定の位置に結像することが可能となる. この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の有効性はすでに示されている [1].

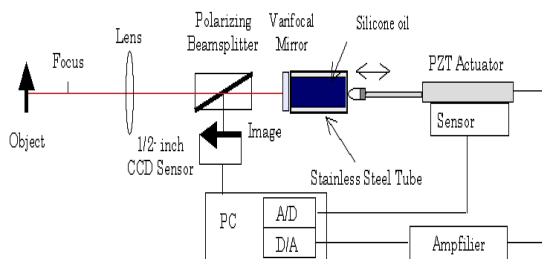


Fig. 1: Construction of 3-D image acquisition system using varifocal mirror

#### 2.2 可変焦点ミラー

可変焦点ミラーは積層型アクチュエータ, 円筒ガラスに Al を蒸着させたミラー, シリコンオイルを封入するためのステンレス管から構成される. 高画質な全焦点画像を得るためにはミラー面が滑らかな曲面を形成しなければならない. しかし, ミラーに直接負荷をかけると一部に力が集中するためにミラー曲面が滑らかな曲面を形成しない. そのためミラーにシリコンオイルを封入したステンレス管を接合することで力を分散させ, ミラー曲面がより滑らかな曲面を形成するようにしている.

### 3 画像取得

#### 3.1 合焦点

合焦点とは画像の焦点が合っているか否かを定量的に判断するための基準であり, コントラストの差を定量化したものである. 合焦点の検出オペレータは様々な提案がされている. 本研究では比較間隔 2 の 8 近傍変形二次微分フィルタを用いた. 合焦点オペレータをかけて得られる合焦点は照明などの低周波成分にも反応するためばらつきが大きくなる. 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.

ミラー面が滑らかな曲面でないと, 焦点距離を変化させて得た画像は, 焦点距離を変化させずに得た画像よりも劣化してしまう. その劣化の度合いも合焦点を用いて定量的に知ることができる. 合焦点が高ければ焦点距離を変化させて取得した画像も高画質となる.

#### 3.2 焦点移動量と合焦点の検出

焦点移動量と PZT アクチュエータの移動量の関係式を得るために以下の実験を行った. PZT に変位を与え, ミラーの曲率を変化させることで撮像レンズの焦点を変化させる. そして, 対象物の位置を  $10\mu\text{m}$  ずつ移動させる毎に合焦点を算出して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. PZT 変位量と焦点移動量の関係を Fig.2 に示す. また, ミラー面に直接負荷を加えた時と流体を挟み力を分散させた時の PZT アクチュエータの変位量と合焦点の関係を Fig.3 に示す. Fig.3 から, ミラーに負荷を与えた場合には焦点移動距離  $350\mu\text{m}$  で合焦点が 75% を下回っているが, 流体を用いて力を分散させることにより焦点移動量  $350\mu\text{m}$  以下では合焦点を 95% 以上に保っていることが確認できる.

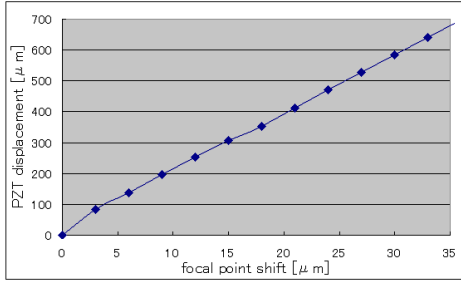


Fig. 2: Relation between PZT displacement and focal point shift

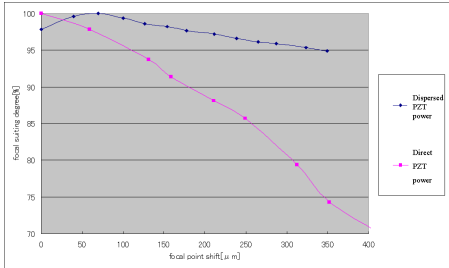


Fig. 3: Relation between focal point shift and focal suiting degree

### 3.3 全焦点画像への合成

全焦点画像の作成は複数枚の画像から焦点の合っている箇所のみを抜き出し合成するという方法を用いた。まず、可変焦点ミラーを10段階変化させ、焦点距離が違う10枚の画像を得る。次に、1枚目の画像の合焦度検出を行い、続いて2枚目の画像の合焦度検出を行う。1枚目の画像の合焦度と2枚目の画像の合焦度を比較し、高い方の合焦度と、その画素における元の輝度値を得る。この手順を10回繰り返して行い、焦点距離10段階での合焦度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、焦点距離が10段階で異なる画像から全焦点画像を取得した。

## 4 回路設計

全焦点画像の合成は膨大な演算量を要し、現在のPCでは性能を犠牲にしなければリアルタイム性を得ることはできない。そのために、本研究では全焦点画像取得アルゴリズムをFPGAに実装することで並列処理を行い、リアルタイム性を確保する。設計にはハードウェア言語であるVerilog-HDLを用いた。

### 4.1 ラプラシアンフィルタ

3.3節で述べたように全焦点画像獲得には取得画像に対して合焦度を得なくてはならない。そのためにまず、8近傍変形二次微分フィルタの設計を行った。8近傍変形二次微分フィルタリング処理後の値を $Lm$ 、座標点を $i, j$ 、輝度値を $I$ 、比較間隔を $e$ として以下に8近傍変形二次微分フィルタの式を示す。

$$Lm(i, j) = \left| 2I(i, j) - I(i - e, j) - I(i + e, j) \right| + \left| 2I(i, j) - I(i, j + e) - I(i, j - e) \right| + \left| 2I(i, j) - I(i - e, j - e) - I(i + e, j + e) \right| + \left| 2I(i, j) - I(i - e, j + e) - I(i + e, j - e) \right| \quad (1)$$

式(1)からわかるように $I(i, j)$ を注目画素とした場合、8近傍変形二次微分フィルタは注目画素周辺の8pixelの値を必要

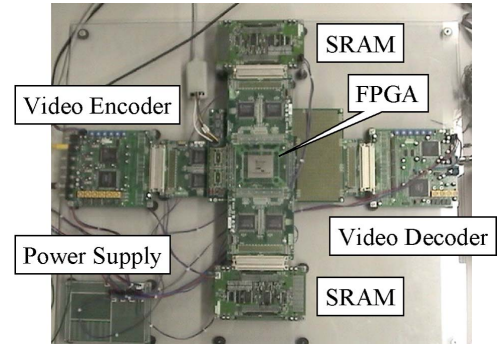


Fig. 4: Prototype FPGA board

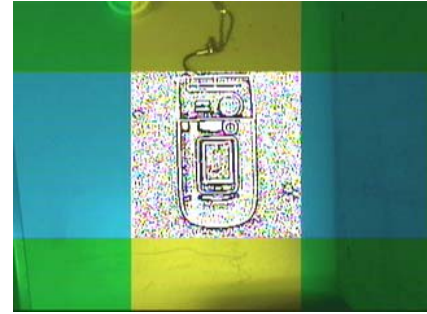


Fig. 5: Result of Laplacian filter

とする。しかし、本研究で用いたSRAMは1クロックにつき1アクセスであるので注目画素に対して毎回8pixelにアクセスを行うと処理速度を低減させてしまう。そのため、既存の輝度値をレジスタに保存することでSRAMへのアクセス回数の削減を行った。

### 4.2 実装

本報告では8近傍変形二次微分フィルタのみの実装結果を報告する。FPGAボードは写真化学製のCM59(Xilinx製VertexE2000搭載)FPGAボードを使用した。実装に使用したFPGAボードをFig.4に示す。実際の実装結果をFig.5に示す。比較間隔が2であるため、通常のラプラシアンフィルタ程はエッジ強調されていないが、エッジ検出できていることが確認できる。

## 5 結言

本報告では、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全焦点画像取得システムの構築と全焦点画像の取得を行った。また、算処理速度向上のため全焦点画像取得アルゴリズムをFPGAに実装するために8近傍変形二次微分フィルタの設計と実装を行った。今後は合焦度の平滑化フィルタ、輝度値の比較プログラムの設計を行い、リアルタイム全焦点画像取得システムを構築する。

## 参考文献

- [1] Akira Ishii, Susumu Sugiyama, Junichi Sakai, Shinichi Hirai, and Toshinori Ochi: Constant-manification focusing using a varifocal 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.