



## 格子照射型モアレトポグラフィ法における モアレ画像の2値化法

新井 泰彦\*・横関 俊介\*\*

\* 関西大学工学部機械工学科 〒564 吹田市山手町 3-3-35

\*\* 九州工業大学情報工学部機械システム工学科 〒820 飯塚市大字川津 680-4

(1990年11月26日受付, 1991年4月30日受理)

### Binarization of Moire Fringe Patterns by the Illumination Type Moire Topography Method

Yasuhiko ARAI\* and Shunsuke YOKOZEKI\*\*

\* Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,  
Kansai University, 3-3-35, Yamate-cho, Suita 564

\*\* Department of Mechanical System Engineering, Faculty of Computer  
Science and System Engineering, Kyushu Institute of  
Technology, 680-4, Kawazu, Iizuka 820

(Received November 26, 1990; Accepted April 30, 1991)

Recently, a variety of thresholding techniques are used for computer-input of moire patterns. However, there are some troubles on post-treatment, since they are nothing but unreasonable for moire pictures. In this study, by using the liquid crystal plate as a grating in the illumination type moire topography system, the resonable technique extracting a binary picture from a moire picture by illumination type moire topography is discussed. Experimental results show that the technique is useful in the automatic 3-D measurment with moire topography.

### 1. はじめに

モアレトポグラフィ（以下モアレ法）は、1970年代初期に Meadows<sup>1)</sup> や高崎<sup>2)</sup>らによって提案され、その後非接触3次元測定法の一手法として注目されるとともに、多くの研究者によって発達を遂げてきた<sup>3-9)</sup>。当初、この技術は、等高線として視覚に訴える形状測定への応用が、主流であったため、その自動化は、パターン認識の手法として発達していた画像処理の手法（例えば、2値化であるとか細線化など）と結び付けられ推進されてきた。現在では、縞走査の技術ならびに、縞次数の自動決定の手法が提案され<sup>10)</sup>、高感度化、自動化が進められている。

このように高感度化されかつ自動化がなされたモアレ法に対して、その最も基本的な特長であり、かつ視覚に容易に訴えることのできるパターンとしての利用が再び

呼ばれつつある。このパターンとしての利用を計算機によって行うためには、従来問題になったモアレ画像の計算機入力法<sup>7)</sup>ならびに画像処理法を検討しなければならない。特に、前処理としての画像の2値化は、計算機入力において重要な処理法であるにもかかわらず従来の手法をそのままモアレ画像に適用したのでは、満足のゆく画像を得ることができないのが実状である。

この問題に対して、本報では、液晶パネルを格子照射型モアレ法に用いた場合の新しい画像の2値化法を提案している。

本手法は、本来のモアレ画像と2倍の周波数のモアレ画像との差分によって、所要のモアレ画像の2値化を行っているので、処理を短時間にスムーズに行うことができる。さらに、照明むら、反射むらなどを含む場合でも良好な結果を容易に得ることができる特長を持っている。本手法による2値化処理では、従来の処理結果のよ

うに画像の白と黒の縞幅が、等しくならない問題があるが、間隔の比が既知であるので、モアレ縞をパターンとして利用する場合には問題なく使用することができる。したがって、本手法はモアレ法の新しい利用分野を開くものであると考えられる。

## 2. 原理ならびに結果

**Fig. 1** の装置の概要が示すように、液晶パネルを格子照射型モアレ法の格子として用いると、格子のピッチは **Fig. 2(A)** に示すように、液晶パネルの画素 2 個を一組としてストライプを描く場合、あるいは、**Fig. 2(B)** に示す画素 4 個を一組とする場合などそのピッチ、位相を自由に変化させることによってアクティブな格子として利用できる。

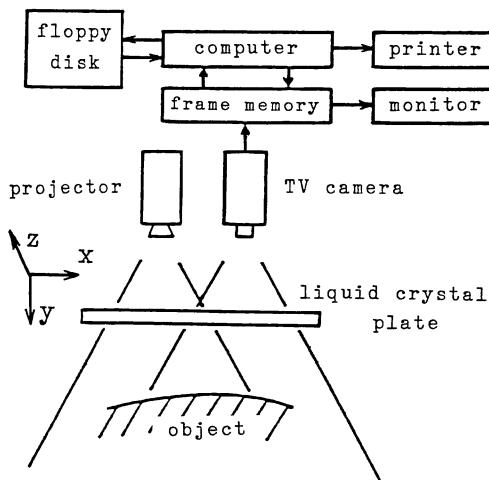


Fig. 1 Scheme of system.

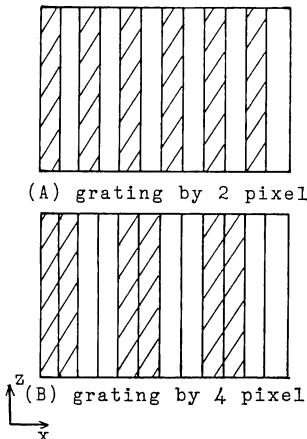


Fig. 2 Grating by liquid crystal plate.

**Fig. 3** に Fig. 1 に示す装置によって求めた平面を傾けた場合のモアレ縞画像を示す。

ここで、**Fig. 3(A)** に示す液晶パネルの画素 2 個を一組として得たモアレ縞画像の明暗分布  $I_2(x, z)$  は(1)式として表すことができる。

$$I_2(x, z) = A(x, z) + B(x, z) \cos 2\phi(x, z) \quad (1)$$

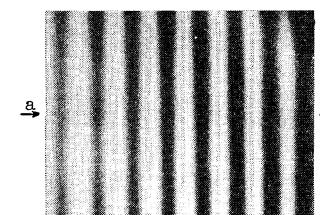
ここで、 $A(x, z)$ ,  $B(x, z)$  は照明むら、反射むらに対する係数であり、 $\phi(x, z)$  はモアレ縞の位相を表す関数である。

一方、**Fig. 3(B)** に示す液晶パネルの画素 4 個を一組として得たモアレ縞画像の明暗分布  $I_4(x, z)$  は、**Fig. 3(A)** に比べて格子の空間周波数が 1/2 となっていることより、発生するモアレ縞の空間周波数も 1/2 となり(2)式として表すことができる。

$$I_4(x, z) = A(x, z) + B(x, z) \cos \phi(x, z) \quad (2)$$

**Fig. 3(A), (B)** の a-a 断面の明暗分布を示したもののが **Fig. 4(A)** である。

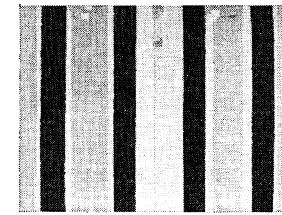
実線で示した液晶パネルの画素 2 個を一組として得た画像の明暗分布に対して、4 個を一組として得た画像の明暗分布は、(1), (2) 式に示すように縞の波長が 1/2 になっている。また、照明むら等の影響を受けて、左から右に向かっていくぶん明るさが減少している。



(A) moire fringe by 2-pixel-grating



(B) moire fringe by 4-pixel-grating



(C) binary picture of moire fringe

Fig. 3 Moire fringes of inclined plane.

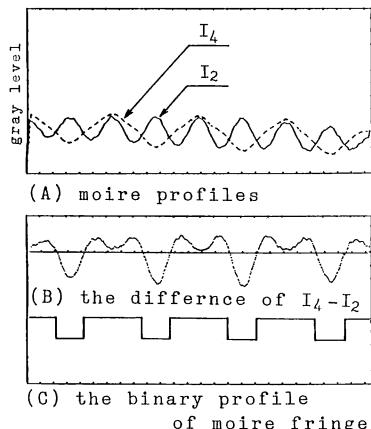


Fig. 4 Experimental results of inclined plane.

ここで、(3)式に示す条件で画像を2値化すると、Fig. 3(C)に示すような2値画像を得ることができる。

$$\begin{aligned} I_4(x, z) - I_2(x, z) &\geq 0 : 1 \\ &< 0 : 0 \end{aligned} \quad (3)$$

(3)式に(1)、(2)式を代入して整理すると、(3)式の条件は(4)式として書き改めることができる。

$$\begin{aligned} \phi(x, z) &\leq 2/3\pi, \quad 4/3\pi \leq \phi(x, z) : 1 \\ 2/3\pi < \phi(x, z) &< 4/3\pi : 0 \end{aligned} \quad (4)$$

(4)式が示すように、本手法による2値化では、照明むら、反射むらなどに関係する  $A(x, z)$ ,  $B(x, z)$  に無関係に、 $\phi$  が  $2/3\pi$  rad から  $4/3\pi$  rad の領域を『0』、それ以外を『1』とした鮮明な2値画像を得ることができる。

ここで、Fig. 4(A)の実線と破線の最大値、最小値の違いに注意する必要がある。この現象は、(1)、(2)式の  $B(x, z)$  の値が異なっていることを示している。この現象を、Fig. 5 を用いて説明すると次のようになる<sup>11)</sup>。

Fig. 5 はモアレ縞を検出する場合の検出開口形状とモ

アレ縞のプロファイルとの関係を示したものである。

Fig. 5(A)に示すように、モアレ縞のピッチ  $D$  に対して検出開口の幅  $a$  を定義すると、 $a$  を  $D$  の 5 パーセントとした場合(B)に示すようにモアレ縞のプロファイルは三角波状になる。 $a$  を徐々に大きくしていくにつれ(C), (D), (E) と変化していく。一般に、モアレ縞のピッチの 30 パーセント程度に検出開口の幅  $a$  を設定するとコントラストの高い取扱いのよい正弦波状のプロファイルが得られる。幅  $a$  がそれ以上になるとコントラストは低下し、モアレ縞のプロファイルの振幅  $B(x, z)$  が減少する。このコントラストの低下の現象が Fig. 4(A)のモアレ縞のピッチが 2 倍違った実線と破線との最大最小値の差を生じさせていると考えられる。しかし、この差は本手法では、処理を行うにあたって外乱に対する一種の不感帯としての役割を果たす都合のよいものとなっている。また、破線で示した液晶パネルの画素 4 個を一組とした場合のプロファイルが、三角波状になり、実線で示した画素 2 個を一組とした場合のプロファイルが正弦波状になっている現象も Fig. 5(B)の結果に対応していると考えられる。このように実際の処理では、かならずしも(1)～(4)式のようにはなっていない。そのため、厳密には、本手法は  $2/3\pi$  から  $4/3\pi$  の範囲を『0』として2値化しているとはいえない。この問題は発生するモアレ縞のピッチと検出開口形状との関係によるものであるから、『0』となる領域を厳密に予め決定することはできない。しかしながら、本手法では鮮明な2値画像を簡単に得ることができるために、モアレ縞画像をパターンとして利用する場合には、有意義な手法であるといえる。

Fig. 6 に示す球面におけるモアレ縞画像に対しての結果を Fig. 7 に示す。Fig. 7(A)の  $I_2$ ,  $I_4$  が示すように、モアレ縞プロファイルの周期が変化した場合でも、Fig. 5 に示した検出開口形状とモアレ縞ピッチの相対的関係のモアレ縞プロファイルへの影響（例えば、最大値、

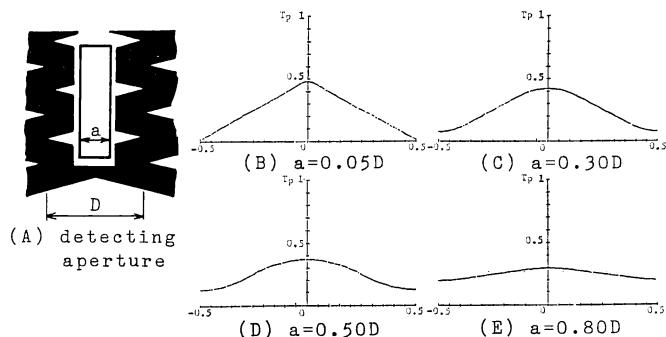


Fig. 5 Relationship between the aperture and moire profile.

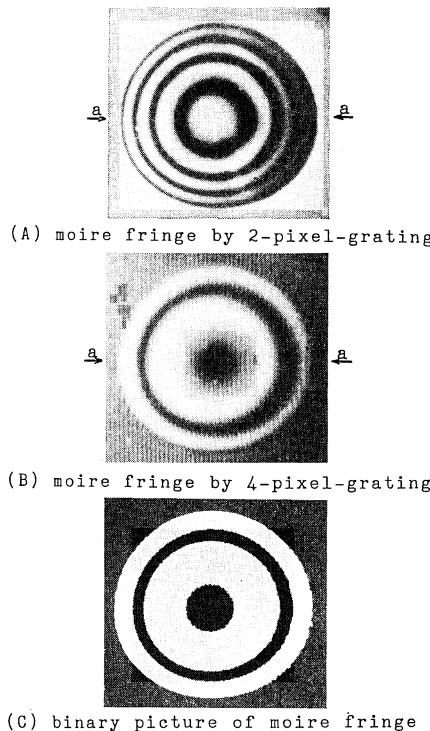


Fig. 6 Moire fringes of sphere.

コントラストの変化等)の議論がこの場合にも成立することを確認できる。すなわち、本手法では、モアレ縞ピッチが変化した場合でも安定した2値化処理を行うことができるものと考えられる。その結果、Fig. 7に示すように左右の照明むらにもかかわらず鮮明な2値画像を得ることができている。

### 3. まとめ

本報では、格子照射型モアレ法におけるモアレ縞画像の2値化の手法を提案した。実験結果において、照明むら等の影響を受けることなく画像の2値化が短時間にス

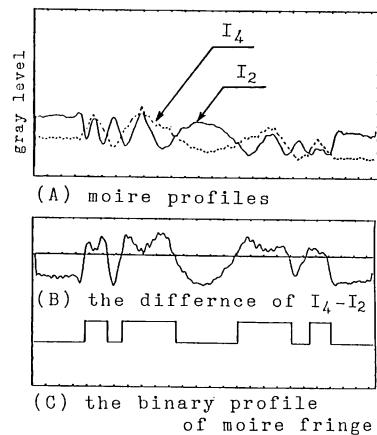


Fig. 7 Experimental results of sphere.

ムーズに行えることがわかった。パターンを利用するモアレ法の計算機入力法として、本手法は有意義なものであるといえる。

### 文 献

- 1) D. M. Meadows: "Generation of surface contours by moire patterns," Appl. Opt., 9 (1970) 942-947.
- 2) H. Takasaki: "Moire topography," Appl. Opt., 9 (1970) 1467-1472.
- 3) 鈴木正根: "モアレトポグラフィ計測法(I)", 画像技術, Nov. (1975) 61-71.
- 4) 鈴木正根: "モアレトポグラフィ計測法(II)", 画像技術, Dec. (1975) 35-47.
- 5) モアレ研究会抄録, 画像技術, Jan. (1976) 38-56.
- 6) 出沢正徳: "走査モアレ法と画像処理", 電子通信学会技術研究報告, IE 78-4 (1978) 21-30.
- 7) 大和淳二: "モアレ縞の計算機入力", 電子通信学会技術研究報告, IE 78-2 (1978) 7-13.
- 8) 上田照夫: "マイクロコンピュータ制御実時間モアレトポグラフィ計測装置", 電子通信学会論文誌 78/5, J 61-D (1978) 299-306.
- 9) 新井泰彦: "走査モアレじまの代表値について", 精密機械, 51 (1985) 558-562.
- 10) 新井泰彦: "縞走査法による格子照射型モアレトポグラフィの測定精度向上", 光学, 18 (1989) 311-315.
- 11) 新井泰彦: "誤差をもつ格子によるモアレ縞の解析法", 光学, 15 (1986) 137-142.