複数形状並列識別のための光アナログ計算システムの開発研究

清水 勲*・加藤 文武*

砂金 孝志*・長岡 啓太**

Developmental Research on the Optical Analogue Computer for Simultaneous Discriminating Plural Shapes

Isao SHIMIZU*, Fumitake KATO*,
Takashi ISAGO* and Keita NAGAOKA**

An optical analogue computing system which can discriminate shapes and/or sizes of small objects and/or letters has been developed using by a Multiplexed Matched Spatial Filter(MMSF) and the optical system composed on an optical rail base for making hologram automatically. The system discriminates the shapes and/or sizes of particles and/or letters instantaneously and simultaneously.

Key Words: laser, optical analogue computer, Multiplexed Matched Spatial Filter

1. はじめに

実装基板の外観検査、製造部品の形状検査や、粉体粒子・生体細胞等の実時間識別、など大量の画像情報を並列迅速に識別することが望まれている。形状識別法としてのデジタル識別法では、被識別形状の寸法と傾き角が参照(標準)形状と異なる場合でも識別が比較的容易であり、識別結果の表示の簡便さに長所があるが、並列識別処理に時間がかかるという問題を残している。一方、形状の光アナログ識別法には、マッチトフィルタ(MSFと略記する)法とジョイント・フーリエ変換(Joint Fourier Transform; JFTと略記する)法がある。MSF法¹⁾は1枚のMSFで1つの形状しか識別できないという欠点と参照形状と異なる寸法と傾きの異なる形状は同一形状であっても識別できないという欠点があり、MSF法の多重化と寸法と傾き角が異なっても同じ形状であると識別できる方法の開発についての研究が行われてきた²⁾。その結果、多重マッチトフィルタ(Multiplexed Matched Spatial Filter; MMSFと略記する)法が開発され^{2), 3)}、複数の異なる形状の並列識別が光速度で可能になり、それぞれの参照形状ごとに被識別形状の位置が相関光の輝点として同時に得られた。また、近年、寸法や傾き角の異なる同一形状についてのアナログ識別は特殊な光学フィルタの設計研究が進み^{4)~6)}、

近い将来にこの問題も解決される段階に近づきつつあるという観がある。JFT法の研究は指紋の識別⁷⁾や顔の識別⁸⁾にCCDカメラで取込んだ映像を空間光変調器(SLMと略記する)上に参照形状と一緒に投影して二画像のフーリエ変換画像の光相関をとって識別が行われるが、JFT法は基本的には1画像ずつの識別が行われるのであって、レンズアレイを用いた複数画像の識別の試みがあるが、これも一つの参照画像に対して複数の被識別画像を並列に識別するための試みに過ぎない^{7), 8)}。したがって、複数の異なる形状を異なる参照形状ごとに1枚のMMSFで並列に光速度で識別するMMSF光アナログ法がデジタル識別法に対抗して将来有効な識別法になり得る可能性がある。また、MMSF法を光コンピューティング⁹⁾に用いる他の理由は、エアロゾル・粉体研究分野では数 μm から数mm程度のサイズの粒子群の形状・サイズの測定には通常平行照射レーザ光束中の粒子からの光散乱のフーリエ変換パターン(光回折パターン)からそれを光速度で並列識別を行うという^{10), 11)}効果的な光アナログ計算識別法がすでに行われているという背景があることと、実装基板の外観検査では1枚のMMSFに複数の識別アルゴリズムが並列に搭載できて、複数の異なった外観検査項目を瞬時並列に行うことが可能であることが明らかにされたこと¹²⁾、また、デジタル処理法では並列処理に未だ満足すべき結果が得られない、という現状があるためである。なお、本研究に類似した、MMSFを用いた簡便な光アナログ計算識別システムの開発は未だ国内外において他に見当たらないようである。さて、MMSF法の発展を妨げてきた要因はMMSFであるホログラムの作成に時間と労力がかかったということもその一

* 茨城工業高等専門学校 ひたちなか市 中根 866

** 宇都宮大学 宇都宮市 陽東 7-1-2

* Ibaraki National College of Technology, 866 Nakane, Hitachinaka-City

** Utsunomiya University, 7-1-2, Yoto, Utsunomiya-City
(Received July 18, 2000)
(Revised March 9, 2001)

つである。そこで本研究では MMSF を光導電プラスチック (PPH と略記する) で簡便迅速に作成する技術を開発し¹³⁾, 異なる複数形状の識別アルゴリズムの搭載を簡便迅速に行うことができ, MMSF 法を on line だけでなく off line でも取り扱える光アナログ計算識別システムとして構成し, CCD カメラで撮り込まれた映像の瞬時並列識別を行うことのできる, 光アナログコンピューティングシステム開発の基礎的な研究を行った。

2. 光アナログ計算システムの構成

2.1 光アナログ計算システムの概要

可干渉レーザ平行光束中に設置された凸レンズの後焦点面に置かれた 1 枚の MMSF でレンズの前焦点面に入った複数形状を光速度で並列識別を可能にする MMSF 法³⁾を光アナログ計算システムの構成に用いる。Fig.1 にレーザ光源, ホログラフィ光学系, PPH 自動現像装置¹³⁾, 小型 CRT ディスプレイと SLM を 1 本の光学レール上に搭載して構成した独自開発の文字列・複数形状の瞬時並列識別用光アナログ計算システムの概略図を示す。Fig.1 において, $\lambda/2$ 板, 空間フィルタ SF, 拡大平行レンズ系を通過した可干渉性レーザ平行光は偏光キューブ PBS で光強度の強い物体光と強度の弱い参照光とに分割される。物体光は SLM の読み出し側に均一強度で照射される。SLM の書き込み側には CCD カメラで撮り込まれマイクロコンピュータで適切に配置された参照形状群が小型 CRT ディスプレイを介して投影される。従来の MMSF 法では MMSF 作成時に参照形状や被識別物体を物体光を構成するレーザ光束中に直接入れることにより, 識別アルゴリズムの作成や形状識別が行われた。しかしながら, 本研究での光アナログ計算機では参照形状や被識別物体の投影は SLM を介して行うことを特徴とする。すなわち, CCD カメラから撮り込まれた参照形状や被識別形状群は小型 CRT ディスプレイを通して凸レンズ L_1 の前焦点面に置かれた SLM の画像書き込み側 (入力側) に投影されることを特徴としている。さて, SLM 上に画像が投射されると SLM 上の画像部分だけで液晶の配列が変わる。SLM の読み出し側 (出力側) に照射されたレーザの平行光束の反射光は SLM 上の画像部分だけで偏光面が回転する。SLM からの反射レーザ光 (読み出し光) は画像情報だけが偏光キューブ PBS を通りレンズ L_1 でフーリエ変換されて L_1 の後焦点 P_2 面上で 1 枚の MMSF で識別される。

なお, 形状識別に用いられる MMSF は PPH で作成される。PPH は光導電プラスチック乾板に溶剤蒸気 (ガス) を吹きかけて軟化し, レーザ光照射と同時に 5kV 程度の高電圧かけると位相型のホログラムとして自動現像される¹³⁾。次項に光導電プラスチック乾板の構造と PPH の自動現像装置の構成を示した。また, Fig.1 中に示すマイクロコンピュータは識別アルゴリズム作成のための参照形状の取り込みとその迅速配置のために, フレームメモリは参照形状の画像データ蓄積のために用いられる。そして, P_3 面上での CCD カメ

ラは MMSF で並列識別された形状の相関信号光群の強さと位置の識別に用いられる。

2.2 複数形状並列識別のための MMSF 法

本研究の中心技術となる多重マッチトフィルタ法について概説する。1 枚のホログラムである MMSF によって粒子の複数の形状・寸法の並列識別はつぎのように行われる。Fig.2 に MMSF 法の概略図を示す。Fig.2(a) には光学系の概略を示す。1 本のレーザ光束を 2 つに分け, 一方を物体光, 他方を参照光とする 2 つの拡大平行光束として P_2 面で交わるように配置する。ここで, Fig.2 の左下 (b) に示すような参照形状粒子群画像を $u_R(X)$ とし, これをフーリエ変換レンズ (凸レンズ) L_1 の前焦点面 P_1 に配置する。参照形状粒子群画像では, 識別したい数種類の参照形状粒子をレンズの前焦点面に互いに遠く離して置く。ここで X は P_1 面上の二次元座

Fig. 1 Optical analogue computing system for discriminating spatial distribution of particles by a MMSF composed of PPH and SLM

Fig. 2 Schematic diagram of the Multiplexed Matched Spatial Filtering (MMSF) system for discriminating shapes of objects, (a) Optical system to make a MMSF, (b) Composition of the reference shapes for making algorithm to discriminate shapes of particles, (c) Arrangement of the measured shapes, (d) Correlation peaks of the measured shapes in the measuring field

標である。参照画像 $u_R(X)$ は像関数 $g_i(X)$ で構成される。

$$u_R(X) = \sum_i g_i(X - X_{ai}) \quad (1)$$

平行な可干渉性の物体光中に置かれた凸レンズ L_1 の前焦点面 P_1 上に物体を置くとレンズの後焦点面 P_2 に物体の光回折パターンが現れる。 P_1 面の参照形状である $u_R(X)$ はレンズ L_1 によってフーリエ変換され、レンズ L_1 の後焦点面 P_2 に回折パターンとして結像する。 $u_R(X)$ のフーリエ変換を $F\{u_R(X)\}$ で表す。また、像関数 $g_i(X)$ のフーリエ変換を (2) 式で表す。

$$G_i(\xi_0) = F\{g_i(X)\} \quad (2)$$

回折パターン $F\{u_R(X)\}$ と参照光 $R(X_0)$ を P_2 面上で重ねる。すなわち、これらの光回折パターン群を L_1 の後焦点面 P_2 で参照光と干渉させ、ホログラム撮影すればそれが1枚のMMSFとなる。この干渉縞の強度分布を T_0 とすると T_0 は次のように表される。

$$T(X_0) = \frac{1}{2} [F\{u_R(X)\} + R(X_0)] [F\{u_R(X)\} + R(X_0)]^* \quad (3)$$

ここで*は複素共役を示す。(3)式において、MMSFのフィルタリングに寄与する項は次のように表される。

$$T_1(X_0) = R(X_0) F\{u_R(X)\} + R^*(X_0) F\{u_R(X)\} \quad (4)$$

式(2)により、式(4)は次のように書き換えることができる。

$$T_1(X_0) = R(X_0) \sum_i G_i^*(\xi_0) + R^*(X_0) \sum_i G_i(\xi_0) \quad (5)$$

物体形状の識別はつぎのように行われる。まず、参照光を遮光し、MMSF作成時の参照形状粒子群を取り去り、つぎに、Fig.2左下(c)に示すように P_1 面に被識別粒子画像 $u_0(X)$ を配置する。被識別粒子画像 $u_0(X)$ は(6)式のように表される。

$$u_0(X) = \sum_l g_l(X - X_{bl}) \quad (6)$$

ここで X_{bl} は識別対象画像中の各形状の位置を示す。この画像 $u_0(X)$ はレンズ L_1 によって P_2 面にフーリエ変換され、MMSFのある P_2 面上に回折パターンとして結像する。 P_2 面上に結像する回折パターンである $u_0(X)$ のフーリエ変換を(7)式に示す。

$$\begin{aligned} U_0(X_0) &= F\{u_0(X)\} \\ &= F\left\{\sum_l g_l(X - X_{bl})\right\} \\ &= \sum_l G_l(\xi_0) \end{aligned} \quad (7)$$

粒子から散乱された光回折パターン群に参照形状粒子と同じ光回折パターンがあれば、それによって平行な参照光が粒子位置に依存した方向に再生される。再生する一次回折光 U_{D1} を(8)式に示す。

$$\begin{aligned} U_{D1} &= U_0(X_0) T(X_0) \\ &= R_0 \sum_i \sum_l G_l(\xi_0) G_i^*(\xi_0) \end{aligned} \quad (8)$$

再生された参照光はレンズ L_2 によって L_2 の後焦点面 P_3 に集光され、相互相関輝点群として現れる。このとき、 U_{D1} はフーリエ変換(逆フーリエ変換)される。 $F\{U_{D1}\}$ を U_{D1} のフーリエ変換とみると、 $F\{U_{D1}\}$ は(9)式のように表される。

$$F\{U_{D1}\} = R_0 \sum_i \sum_l g_l(x_l) * g_i^*(x_i) \quad (9)$$

ここで、*はコンボリューションを示し、 x は P_3 面上の二次元座標を示す。コンボリューションと相関演算の関係式(10)を用いると、

$$g(x, y) * f^*(-x, -y) = g(x, y) \otimes f(x, y) \quad (10)$$

(9)式は(11)式のように書き換えられる。

$$F\{U_{D1}\} = R_0 \sum_i \sum_l g_l(x_l) \otimes g_i(x_i) \quad (11)$$

ここで、 $\otimes$ は相関演算を示す。 P_3 面において、 $U(X)$ と $U_0(X_0)$ の相互相関輝点は(11)式のように表される。 g_l と g_i が等しい(形状・寸法が等しい)とき、 g_i と g_l の相互相関値は最大となる。形状 $g_l(X - X_{bl})$ の位置座標は X_{bl} であり、 P_3 面での $g_l(x)$ は $g_l(X_{ai} + X_{bl})$ となる。このことから、参照画像中の参照物体と形状・寸法の等しい物体の相互相関が強い輝点として現れる。その輝点の位置は $X_{ai} + X_{bl}$ で与えられる。これは各参照形状の位置 (X_{ai}) を中心に識別領域を考えると、その位置から $-X_{bl}$ すなわち元の位置に点対称な位置に相関輝点が現われることを意味する。これにより、形状・寸法ごとに分離された物体の空間分布がそれぞれ参照形状ごとに分離して表示される。

2.3 MMSF法を用いた光アナログ計算機の構成

さて、光アナログ計算機を構成するためには性能の良いMMSFすなわち性能の良いホログラムが必要とされ、ホログラムの解像度は数百 lines/mm 程度以上が必要であり、ホログラムを簡便迅速に作成することが要求される。従来は、ホログラムの作成には銀塩乾板が使われ、その解像度は1,000~3,000 lines/mm 程度であり、この面からはMMSF作成に写真乾板は優れていたが、しかし、ホログラム作成用の写真乾板は露光のための光学暗室や現像のための写真暗室が必要であった。更に、ホログラム作成時に、光学系に生ずる微弱な振動でもホログラム作成が阻害される。したがって、ホログラム作成には、光学暗室中に設置されたエアサスペンション付きの防振光学定盤上に配置された光学系をしっかりと固定し、真つ暗闇の中で振動を起こさないよう静かにホログラム露光作業を行うのが普通であった。また、銀塩乾板はその場現像ができないので乾板をはずして写真暗室の中で現像することが必要であり、熟練した写真現像技術が要求された。本研究では、銀塩乾板を用いる代わりに解像度が数百 lines/mm から千 lines/mm 程度あり、光回折効率が高い光導電プラスチック乾板¹³⁾を用い、それが初めに設置されたままの状態ですり蒸気(ガス)でそれを自動現像するという装置が開発された。また、防振のためにレーザ光源、ホログラム現像装

置およびその他すべての光学系を1本の光学レール上に固定する方法と装置が開発された。したがって、従来のホログラム作成法の欠点であった写真技術の煩雑さを解消すると同時に防振効果の高い光学系が構成されて、薄明るい室内の木製机上でも数分間で簡便迅速にホログラムが作成できる方法および装置が開発された。Fig. 3にPPH乾板の構成を示す。PPH乾板は透明ガラス基板の上に透明な導電膜、光増感剤の薄膜、プラスチック薄膜が塗布されている。Fig. 4に溶剤蒸気現像型PPH現像装置(PPHVと略記する)の概略図を示した。PPHVは溶剤蒸気導入装置、溶剤蒸気封入槽、光導電プラスチックに5kVの高電圧を加える高電圧発生装置およびコントローラから構成される。本システムによるホログラムすなわちMMSFの作成はつぎのように行われる。まず、シクロヘキサン溶剤蒸気でPPH乾板のプラスチック層を軟化させる。つぎにPPH乾板にレーザ露光(参照形状粒子の光回折パターンと参照光の同時照射)と5kVの電圧印加を同時に行う。軟化したプラスチック層では参照粒子形状の光回折パターンと参照光による干渉縞の光強度に対応したしわ(フロスト)が生じ、MMSF作成が完了する。ホログラム作成のプロセスは約3分間以内で行われ、従来のようにホログラム乾板を取り外して現像・定着処理を行う必要がない。ホログラム作成可能な最小光強度は約 $5(\mu\text{J}/\text{cm}^2)$ 、乾板の分解能は約1,000 (lines/mm)で光回折効率は約27%程度である。なお、外光を遮断しなくてもホログラムの作成が可能である。また、PPH乾板は1枚が10回程度の書き込みと消去ができる。

前述したようにホログラム作成光学系は1本の光学レール上にすべて設置される。Fig.1に示した装置は長さが約

Fig. 3 Photo-conductor plastic hologram plate

Fig. 4 Setup making photo-conductor plastic hologram processed with solvent vapour, (a) Schematic diagram of PPH system, (b) cell processing PPH

600mm程度であり、ホログラム作成光学系と光アナログ計算機が同時に構成されている。この装置は可搬型で従来のホログラム作成光学系に較べてかなりコンパクトである。1本の光学レール上にシステムが構築されているので振動に対して光学系全体が揺れても光学要素間では相対的な揺れがない。したがって、木製テーブル上でもホログラムの作成が可能であり、光アナログ計算機として取扱いが容易である。複数形状識別用光アナログ計算システムの構成をより汎用的なものにするために、光学系の物体光中の凸レンズの前焦点面 P_1 にSLMを設置して電子カメラ等から取り込まれた画像をSLMに投射し更にコヒーレント変換して読み出し、MMSFで並列迅速に識別する方法を採用して、全システムの構成が行なわれた。光アナログ計算機を構成するそれぞれの構成部品の仕様はつぎのようである。光源はHe-Neレーザ15mW、波長 $\lambda=632.8\text{nm}$ 。均一強度平行光作成光学系では対物レンズ $\times 40$ 、ピンホール直径 $25\mu\text{m}$ 、平行光作成レンズの焦点距離 $f=80\text{mm}$ 、 L_1 の焦点距離 $f_1=150\text{mm}$ 、 L_2 の焦点距離 $f_2=120\text{mm}$ 、SLMは分解能50lines/mm、入力感度 $1\text{mW}/\text{cm}^2$ (633nm, π 変調時)、応答速度1ms(rise time), 5ns(fall time)、有効受光面 $20\times 20\text{mm}^2$ 、である。

3. 光アナログ計算機アルゴリズムの迅速作成・搭載法

従来のMMSF法での形状識別のアルゴリズムの搭載は写真乾板上に撮影した被識別物体と同じ形状の参照形状配置画像をレンズ L_1 の前焦点面で平行レーザ光束中に入れて L_1 の後焦点面で写真乾板を露光し暗室で現像してホログラムを作成することによって行われていた。本研究の光アナログ計算システムでは、従来は労力と時間がかかり、かつ非常に困難であった画像解析のアルゴリズムの作成と搭載(インストール)が、開発したホログラム自動作成装置とSLMとを併用することにより従来に比べて格段に速く簡便に行われるようになった。すなわち、参照形状群をマイクロコンピュータで配置し、形状情報のコヒーレント変換を行うために、それをCRTディスプレイでSLMに投影する。SLM上の参照形状群はレンズ L_1 により光回折パターンに変換され、参照光と共にPPH乾板上に照射されてMMSFが作成される。作成されたMMSFには形状・寸法識別のアルゴリズムがインストールされたことになる。従来のMMSF法では数時間を要することが極く普通であったアルゴリズムのインストールも本方法では数分間程度しか時間がかからず、識別アルゴリズムの作成およびインストールが、デジタル計算機におけるアルゴリズム作成およびインストール並みに簡便化された。

4. 複数の形状と形状ごとの位置の並列識別実験および結果

異なる3種類の形状、三角、円、楕円を持つ粒子群の形状識別結果をFig. 5に示す。Fig. 5(a)は参照形状の配置を示す。これらの参照粒子の形状が識別したい形状を表し、その

Fig. 5 Discrimination of shapes by a MMSF using SLM, (a) an image of reference shapes, (b) an image of shapes to be discriminated, (c) spatial distribution of auto-correlation peaks

位置が識別結果表示領域の中心を表す。5(b)に被識別粒子群の配置が、5(c)には識別結果を示す自己相関光輝点群が示されている。5(c)には、右上、左上、下がそれぞれ三角形、円、楕円の形状を持つ粒子の識別結果表示領域を示し、そこには、2.2節で述べた如く、被識別粒子群のそれぞれの形状ごとの粒子位置と点対称に自己相関光群が現れている。なお、Fig.5(c)に示す画像の中には識別関連信号光群だけでなく、中央部に雑音光が強く拡がっているのが見える。この雑音光はSLMの視界を構成する枠線等から生ずるものであると考えられる。それはSLM視界の枠線部を排除するような空間カットフィルタを読み出し側に置けば雑音光を幾分減らすことが出来るということからもわかる。雑音光を空間カットフィルタで排除して、円形、星形、四角形、三角形等、異なる4種類の粒子群の形状識別結果をFig.6に示す。Fig.6(a)は参照形状の配置を示す。6(b)には被識別粒子群の配置が、6(c)には識別結果を示す自己相関光輝点群が示されている。6(c)では、上、左、下、右がそれぞれ円形または球形、星形、四角形、三角形の形状を持つ粒子の識別結果表示領域を示し、そこには、被識別粒子群のそれぞれの形状ごとの粒子位置と点対称に自己相関光群が明確に現れている。なお、識別性能の検査のために、短軸/長軸の比が0.32, 0.56, 0.76, 0.90と異なる4つの楕円の識別が行われ¹⁴⁾、本システムを用いてもそれらは明確に区別されることが明らかになった。

また、文字列識別結果として、10個の数字を同時に識別した結果をFig.7に示す。Fig.7(a)には数字の参照形状配置、7(b)には被識別数字列、7(c)には識別結果を表す相関光輝点を、それぞれ示す。7(c)では右上から左下へ斜めに強い輝点の自己相関光群が現れている。7(c)の識別結果表示領域は、7(a)に示す参照形状の配置位置と同じく上から等間隔に1,2,3,...とそれぞれの数字の識別結果表示領域ごとに横長となるから、自己相関光の輝点群は7(c)に示すそれらの領

Fig. 6 Different shapes discriminated by the optical analogue computer, (a) composition of reference objects; (b) composition of input object; (c) output correlation peaks in Plane P_3

Fig. 7 An experimental result discriminating Arabic numerals shown by the positions of correlation peaks, (a) composition of reference numerals, (b) measured numerals, (c) output correlation peaks

域中で斜めに識別結果として被識別数字と点対称に現れる。なお、7(c)中のその他の薄い輝点は相互相関光である。以上のように開発された光アナログ計算システムによって相関光の出現する領域と位置および輝点の強さから複数の文字が並列に同時に識別できることが明らかとなった。MMSF法をoff lineで取り扱うことの利点はレーザ光束中に被識別物体を直接に入れられない場合の測定にある。自動車のプレートナンバーの識別や実装基板の外観検査を想定した識別である。自動車のナンバープレート識別の基礎となる文字列のCCDカメラからの取り込み・識別や実装基板の外観検査をその一例として測定結果の一部を示した。基板に実装されたICチップの外観検査を想定した異なる3種類の部品の表示マークの並列識別を行った。Fig.8は製造会社の異なる3種類のIC表示

Fig. 8 Experimental result, the shape and location of three different kinds of parts are determined, (a):location of reference figures, (b): measured parts, (c):output signals

マークを同時識別した結果を示している。Fig.8(a)は参照形状IC群の設定位置を示し、この配置でMMSF上に識別アルゴリズムが搭載（インストール）されている。この識別フィルタMMSFでFig.8(b)に示す実装配置のICチップを識別すれば、Fig.8(c)に示すようにそれぞれのICチップの識別信号が強い相関信号光となってそれぞれの参照形状ICの設定位置を中心に点対称の位置に現れる。これらの識別信号光群は被識別部品画像がSLMに投射された瞬間に実時間で現れる。この種の識別実験では、部品の欠落、極性反転、品名相違、取り付け異状などの複数の検査を並列に *in-situ* に行うことが可能であることがわかった。

なお、並列識別可能な参照形状の数はSLMの画面の大きさおよび解像度に左右される。現有のSLM（浜松ホトニクス、PAL-SLM、有効画面サイズ $20 \times 20[\text{mm}^2]$ ）の解像度は $50[\text{line/mm}]$ で、SLM上に書き込める形状の最小のサイズが $1[\text{mm}^2]$ 程度である。これらの仕様を考慮し、中央部を雑音光出現領域として除いて参照形状配置を行えば、文字は20個程度、ICチップなどは中央部を除く3行3列配置で、 $(3 \times 3 - 1) = 8$ 個程度が可能な並列参照形状数であった。

5. 光アナログ計算機構成に関する問題点の検討

光アナログ計算システムを構成するにあたって最も重要な点は、一つにはSLMに投影された画像群がインコヒーレント・コヒーレント変換されて均一強度で鮮明な画像として得られることであり、つづいては、解像度が比較的高く光回折効率が良く並列識別性能の良いMMSFがその場で迅速に作成されることである、と考えられる。SLMによって均一強度で鮮明な画像群が得られるためにはSLMの読み出し画面がレーザ光によって均一強度でむら無く照射されることが不可欠である。そのために対物レンズとピンホールで構成した光

束の均一光強度部分だけを取り出す光学系を設定してこれに対処した。また、並列識別性能の高いMMSFの作成は、独自開発された光回折効率が従来のものに比べて格段に高い性能を持つPPHを用い、同時に $1/4$ 波長板を用いて直線偏光を円偏光に変えてホログラム乾板上での光干渉を容易に効率よく行うことにより実現させた。しかしながら、多くの画像を同時並列に識別するためにSLM画面を広いレーザ照射光で照らすとSLMの画面端から雑音光の光回折パターンが出現して、測定邪魔になる。この問題の解決が必要になる。すなわち、光アナログ計算システムを構成する際には、SLMの画面が狭くないこと、SLMに照射する読み出し光が均一光強度で場所的にも時間的にも強度むらがないこと、並列識別性能の良いSLMの作成のために物体光と参照光との光強度を適切に合わせるなど、意を用いねばならぬことは多い。

6. ま と め

文字列や複数形状を瞬時並列に識別する多重マッチトフィルタ法を骨格とした光アナログ計算システムを開発した。CCDカメラ、CRTディスプレイ、SLM、PPH自動現象装置等を組み込んだ文字列・複数形状識別用光アナログ計算システムを試作した。溶剤蒸気で現像する光導電プラスチックホログラム（PPH）自動現象器を用いてMMSFを作成することにより複数形状の識別アルゴリズムの簡便迅速なインストール法が実現できた。また、レーザ光源、MMSF作成光学系、などすべての光学系を1本の光学レール上に構築することにより、コンパクトで防振効果の高い光学システムを開発した。開発された光アナログ計算機を用いて文字列や複数形状の粒子群を識別した結果、迅速並列にそれらが識別されることが確かめられた。

謝辞

本研究の一部は文部省科学研究費補助金、課題番号：10555138「複数の物体形状や文字列の実時間並列識別のための光アナログ計算システムの開発研究」によって行われた。関係各位に記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) H.Fujii, S.P.Almeida and J.E. Dowling: Rotational matched spatial filter for biological pattern recognition, *Applied Optics*, **19**-7, 1190/1195(1980)
- 2) A. Van der Lugt, B. F. Rotz and A. Klooster: *Opt. Electro-Opt. Information Processing*, 125/141(1965)
- 3) 清水, 浅川, 亀丸: マッチトフィルタの多重化とそれを用いた複数の物体形状とその位置の同時識別法, *光学*, **17**-7, 361/366(1988)
- 4) D. Casasent and D. Psaltis: Position, rotation and scale invariant optical correlation, *Appl. Opt.* **15**-7, 1795/1799(1976)
- 5) P. Wu and H. Stark: Rotation-invariant pattern recognition using a vector reference, *Appl. Opt.* **23**-6, 838/840(1984)
- 6) Y. Sheng and H.H. Arsenault: Experiments on pattern recognition using invariant Fourier-Mellin descriptors, *J. Opt. Soc. Am. A*, **3**-6, 771/776(1986)
- 7) 豊田, 吉田, 白坂, 小林, 原: 位相変調型空間光変調器を用

いた光相関システム, 光学, **23**, 315/320(1994)

- 8) K.Kodate, A.Hashimoto and R.Thapliya: Binary zone-plate array for a parallel joint transform correlator applied to face recognition, Appl. Opt., **38**-14, 3060/3067(1999)
- 9) 一岡, 稲場: 光コンピューティングの辞典, 朝倉書店, 176/190(1997)
- 10) 清水, 亀丸, 山本, 土屋: 粒子群の形状, 寸法別空間分布の測定法, 計測自動制御学会論文集, **28**-24, 419/425(1992)
- 11) 清水, 角田, 亀丸: 多重マッチトフィルタを用いた球状粒子の寸法別空間分布の測定法に関する研究, エアロゾル研究, **8**-4, 307/314(1993)
- 12) I.Shimizu, H.Nagaoka, T.Isago and T.Saito: Real time inspection of board loading electron parts, Proc. of 70th JSME Spring Annual Meeting **III**-930-9, 341/343(1993)
- 13) 清水, 砂金, 加藤, 大橋: ホログラム簡便自動作成装置とそれを用いた教育システムの開発, 工学教育, **49**-1, 27/35(2001)
- 14) 加藤, 清水, 砂金, 原: 粒子群の形状・寸法ごとの空間分布の瞬時並列光アナログ識別法, エアロゾル研究, **14**-22, 138/144(1999)

=====

[著 者 紹 介]

清 水 勲 (正会員)

1966年 茨城大学工学部精密工学科卒業。同年茨城高専 機械工学科助手, 現在, 同教授。応用光学, 計測工学の研究に従事 (工学博士)。

加 藤 文 武

1994年 広島大学大学院工学研究科修士課程修了。同年 茨城高専 機械工学科助手, 現在に至る。レーザ応用計測, 磁気工学の研究に従事 (工学博士)。

砂 金 孝 志

1981年 筑波大学大学院化学研究科博士課程修了。87年 茨城高専 工業化学科助手, 現在, 物質工学科助教授。機能材料化学, 錯体化学の研究に従事 (理学博士)。

長 岡 啓 太

2000年 茨城高専機械工学科卒業。同年 宇都宮大学3年次に編入学。現在に至る。

=====