

## 研究

特徴抽出された参照パターンによるマッチトフィルタ  
とそれを用いた文字認識

矢野 潤一\*・亀丸 俊一\*\*

茨城大学 \*大学院工学研究科精密工学専攻, \*\*工学部システム工学科

〒316 日立市中成沢町 4-12-1

(1991年12月11日受付, 1992年2月4日受理)

Character Recognition by a Matched Spatial Filter with  
Feature Extracted Patterns

Jun-ichi YANO\* and Shun-ichi KAMEMARU\*\*

\* Graduate Student, Department of Precision Engineering, Faculty of Engineering,

\*\* Department of Systems Engineering, Faculty of Engineering, Ibaraki University,  
4-12-1, Naka-narusawa, Hitachi 316

(Received December, 11, 1991; Accepted February 4, 1992)

In a conventional pattern recognition system with a matched spatial filter (MSF), the system is based on a template matching which is the comparison of the test pattern with a number of stored patterns until an exact match is found. Therefore, sometimes, the system has not been able to distinguish some similar patterns. In this paper, we propose to apply a concept of feature extraction to matched spatial filtering to improve performance of the MSF for distinction of some closely similar patterns. The synthesis of the MSF with partial patterns of a part of unknown input to be recognized enables the filtering operation to extract desired features from some input patterns. Using this technique and a hybrid pattern recognition system with the MSF synthesized by nine feature extracted patterns, we could perfectly recognize a page of unknown 25 alphabets.

## 1. 緒 言

現在さまざまな分野で画像処理が利用されている。その際に取り扱われる画像の情報量は、電子計算機の発展と共に増加の一途をたどっている。しかし従来型の電子計算機の処理能力の限界がささやかにはじめた現在、空間的な並列処理を得意とする光情報処理への期待が非常に高まってきた。これは光情報処理が、空間的な2次元、もしくは3次元情報を、高速かつ並列に処理する能力を持っており、画像などの2次元情報を処理するためには最適と考えられるためである。

一方、コヒーレント光学系を用いた空間周波数領域におけるフィルタリングの手法が、光情報処理技術の一つとして画像処理を中心に応用されてきた。特にパターン

認識の分野では、ある画像の中から、所望とするパターンの有無とその位置を検出する最適フィルタを、光学的に実現したマッチトフィルタ<sup>1)</sup>がある。このマッチトフィルタを、コードメモリとして文字認識<sup>2)</sup>に應用した提案や、指紋の照合、ケイ藻の識別<sup>3)</sup>などに應用した提案がなされてきた。そして現在は、マッチトフィルタを應用した光学処理技術が持ち併せている、高速並列処理能力の利点をさらに活かしつつ、データの取り扱いの容易さをもつデジタル処理をあわせて導入した、ハイブリッドシステムの構築が進められている。

従来はこれらのマッチトフィルタリングシステムのほとんどが、一回のフィルタリングでは一種類のパターンの処理にとどまっていた。これは、一回のフィルタリングで処理可能なパターン数の低いフィルタがシステム中

で用いられていたためである。また、数種類のパターンが同時に記録された多重フィルタの場合でも、入力が一箇のパターンの場合にしか認識処理できず、一回の処理あたりの識別数の低いフィルタとなっていた。それらに対し、フィールドの概念に基づいて作製された、多重マッチフィルタ (multiplexed MSF: MMSF)<sup>4)</sup> は、各参照パターンに対する相関信号を空間的分離することができるため、一回のフィルタリングで数種類のパターンを同時に処理することが可能となる。そして、われわれはこの多重マッチフィルタとデジタル処理を用いたハイブリッド認識システム<sup>5)</sup>の研究を進めてきた。

ところがわれわれの研究も含め、従来型のマッチフィルタにおいては、これらの応用例のほとんどが被識別パターンそのものを参照パターンとする、テンプレートマッチングを基本として認識システムが構築されてきた。しかし、このテンプレートマッチングによる手法では、相関度の高いパターン同士の識別能力の低下が問題であった。この問題を解決するため、Winzer らによる被識別パターンの構成部分要素を参照パターンとして用いたマッチフィルタリングが提案されている<sup>6)</sup>。しかしこの報告においても、一回のフィルタリングでは一種類のパターンのみの認識処理を行っているにすぎない。しかもその報告では、光学的な相関によって出力した相関ピークをもって、そのシステムの認識結果としている。つまり、相関ピークの有無とその出力位置から、熟練観測者のみが、未知入力の推測と、パターンの識別が可能であった。

また、Nakajima らによる文字認識システム<sup>2)</sup>の提案では、このピーク分布はあらかじめ輝点によるコード符号を、認識するパターンごとに対応させ、この輝点の出現分布から文字の認識を行っている。しかし、この輝点分布は、Vander Lugt 型のマッチフィルタによって得られる、従来の相関ピークとは異なるものである。また、システムで同時に認識処理できる未知パターン数も一個である。

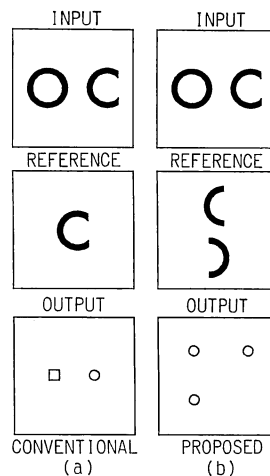
そこで本報告では、マッチフィルタリングによるパターン識別能力の向上を図るため、フィールドの概念に基づいた多重マッチフィルタを特徴抽出へ応用することを提案する。さらにこのとき、同時に認識処理できる未知入力パターンの数を向上させることを目的とした。本研究では光学的な相関演算に引き続き、後段にデジタル処理を導入し、最終的な出力結果として、認識した文字を CRT に出力した。提案するシステムによって、9種の参照パターンにより、アルファベット 26 文字を

入力し、その識別を容易に実行することができたので、報告する。

## 2. マッチフィルタリングの特徴抽出への応用

従来パターン認識に应用されてきたマッチフィルタは、被検出パターンそのものを参照パターンとする、テンプレートマッチングを基本にパターンの識別を行ってきた。そのため、相関度の非常に高いパターン同士の識別が困難となる場合が多かった。この例として、'O' と 'C' を識別する場合について Fig. 1 を用いて説明する。

Fig. 1 (a)において、従来のテンプレートマッチングの概念によるマッチフィルタリングでは、文字 'C' を識別しようとする場合、まず参照パターンとして 'C' そのものを用いてマッチフィルタを作製し、フィルタリングを実行する。このとき所望の文字 'C' と共に 'C' と非常に相関度の高い入力パターン 'O' を入力すると、それぞれの入力と、参照パターン 'C' との光学的相関が実行され、出力面には 'C' と 'C' の自己相関信号(O), 'C' と 'O' の相互相関信号(□)が出力される。このとき文字 'C' と 'O' がきわめて似通っていることから、出力される二つの相関信号の強度がほぼ等しくなるため、自己相関信号と相互相関信号を区別するための2値化処理が極めて難しく、パターン 'O' と 'C' の識別が困難となる。



**Fig. 1** Comparison of a conventional matched filtering technique with a proposed one, when desired pattern is 'C.' (a) The conventional one is based on template matching. (b) The proposed one, on feature extraction using cross correlation signals.

この問題点を解決するため、被検出パターンの部分要素を参照パターンとして用いることにより、多重マッチフィルタリングに特徴抽出の作用を付帯させることを考える。Fig. 1 (b)において、'O' と 'C' の部分要素である左半円、右半円を参照パターンとして用いてマッチフィルタを作製し、フィルタリングを実行する。'O' の入力に対しては左右の半円の両パターンともに相関信号が出力される。また、'C' の入力に対しては左半円のパターンに対してのみに相関信号が出力される。したがってこの手法でマッチフィルタを作製し、フィルタリングを行えば、入力パターン 'O' と 'C' では、その光学的な出力ピークの出現パターンが異なり、この違いから両者の識別が可能となる。したがって参照パターンとして最適な部分パターンを用いたマッチフィルタリングでは、相関度の高いパターンの識別も容易となることが予想される。また従来のテンプレートマッチングの手法では、アルファベット 26 文字を識別するフィルタには 26 個の参照パターンを記録することが必要であったが、われわれの提案する手法によれば、これを 9 個程度に減らすことが可能となり、フィルタの作製が容易になり、フィルタ自身の識別能力も向上するという利点がある。

### 3. ハイブリッドシステム

光学的マッチフィルタリング系とデジタル系から構成されるハイブリッドシステムを Fig. 2 に示す。レーザーから P<sub>3</sub> 面までが光学処理系、CCD カメラより後段がデジタル処理系である。光学処理系は光源 (He-Ne laser 5 mW), 入力面 P<sub>1</sub>, フーリエ変換レンズ FL<sub>1</sub> (φ=73 mm, f=250 mm), マッチフィルタ面 P<sub>2</sub>, フーリエ変換レンズ FL<sub>2</sub> (φ=73 mm, f=250 mm), 相関信号出力面 P<sub>3</sub> から、デジタル処理系は CCD カメラ, フレームメモリ, マイクロコンピュータから構成されている。

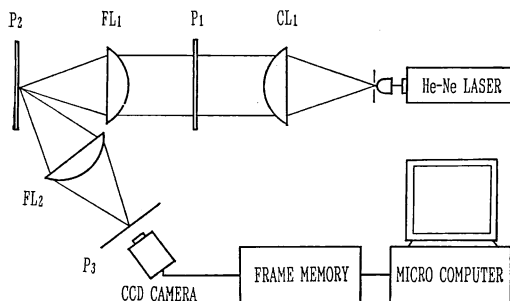


Fig. 2 The hybrid pattern recognition system for character recognition.

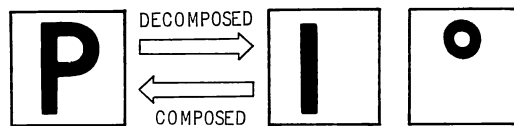


Fig. 3 Concept of pattern recognition using feature extraction. Input character 'P' is decomposed into a virtual bar and a small circle elements in optical processing. In digital processing, the virtual bar and the small circle elements compose the character 'P.'

次に、光学処理系とデジタル処理系、それぞれの役割について述べる。まず、光学処理系では、被検出パターンの部分要素を参照パターンとして用いた光学的マッチフィルタリングにより、入力されたパターンの特徴を抽出する。多重マッチフィルタリングを応用した光学処理では、出力相関信号が、参照パターンとして用いた部分要素ごとの領域 (フィールド) の、空間的に分離された位置に輝点信号として出力される。

続いて、その出力信号を CCD カメラによって、フレームメモリへ取り込み、デジタル処理系において各部分要素ごとの領域の信号の有無と、その位置の検出を行う。これによって、光学系の出力面 P<sub>3</sub> から、入力されたパターンの特徴を示す部分要素の種類と位置の情報を得る。マイクロコンピュータはこの情報を統合・推論する。そして、最終的に入力されたパターンの識別を行い、それをディスプレイに表示する。

この具体例として文字 'P' が入力された場合を、Fig. 3 を用いて述べる。'P' は縦棒と小さい丸の部分要素から構成されていると考えられる。多重マッチフィルタリングにより、入力文字は、その文字の特徴を示す縦棒と小さい丸の部分要素に分解抽出される。次に、分解抽出して得られた情報がデジタル処理系において統合されることにより、入力文字が 'P' であることが識別される。

### 4. 参照パターンの決定

今回、マッチフィルタ作製のための参照物体として用いた 9 個の部分パターンを、Fig. 4 に示す。これらの部分パターンの決定手順を次に述べる。

まず認識する対象として用いる各アルファベット文字を、それぞれ部分要素に分解し、それらのうちの似通った部分要素同士で一つの集合を作る。次にその各々の集合を代表する部分要素を最終的に参照パターンとして決定する。例えば、E と F の 2 文字を認識対象とすれば、E は 3 個の横棒の要素と 1 個の縦棒の要素に分解でき、

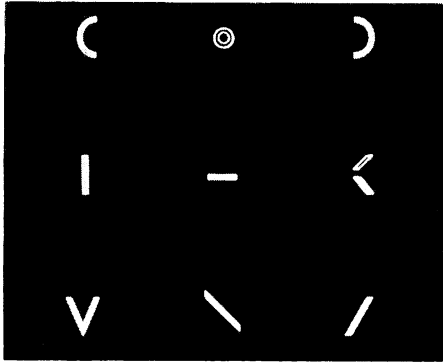


Fig. 4 The reference object for synthesizing the MMSF.

Fは2個の横棒と1個の縦棒の要素に分解できる。つまり、EとFを部分要素に分解すると、この2文字を特徴的に表す部分要素として、横棒要素と縦棒要素の二つの部分要素の集合をつくることができる。したがってEとFの2文字の認識では、横棒要素と縦棒要素をマッチトフィルタ作製のための参照パターンとして決定することが適当と考えられる。

同様の手順により、本実験で認識対象とするアルファベット文字の個々の形状を考慮し、今回は Fig. 4 に示す9個の部分参照パターンを26文字から切り出した。そして、これらをフィルタ作製のための参照パターンとして決定した。

続いて今回選択した9個の参照パターンの妥当性と、それらのパターンに対する相関ピークの出現パターンを確かめるため、選択した9個の参照パターンと、各アルファベット文字との相関演算を、計算機シミュレーションによって行った。シミュレーションの一例として文字Pと各参照パターンの相関演算の結果を、強度等高線図の形で Fig. 5 に示す。参照パターンの配列は Fig. 4 と同様となっている。Fig. 5 (a)はしきい値処理を施さないときの出力である。そして、Fig. 5 (b)は各フィールドごとにしきい値を設定し、2値化処理を施した結果である。Fig. 5 (b)から、ピークの出現位置による文字Pの認識アルゴリズムに必要な縦棒と小丸の、ピーク信号の分布を得ることができることがわかる。

このシミュレーションにより、すべてのアルファベットと9個の参照パターンとの相関演算を行った。その結果、9個のフィールドの最適しきい値を定めたとき、残ったピーク信号の分布を基に、すべてのアルファベットを識別することができた。したがって、本研究に用いる9個の参照パターンが26個のアルファベットの特徴をすべて含んだパターンであり、われわれの提案する概念

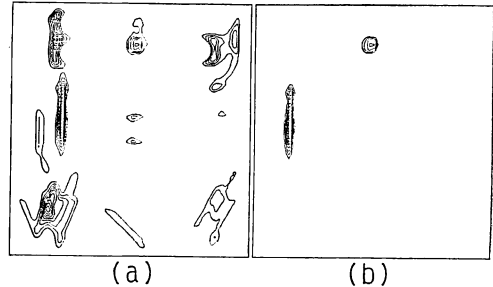


Fig. 5 Computer simulation of correlation of the reference patterns shown in Fig. 4 with character 'P.' (a) Without threshold, (b) with threshold.

によるフィルタの作製には妥当であることが確かめられた。

次に今回実験で用いた参照パターンの一部が、中抜き構造になっている点について、認識するパターンをFとして、これを説明する。もし今回選択した部分パターンをそのまま中抜きにせず、従来どおりの手法<sup>7)</sup>でマッチトフィルタを作製した場合、Fと縦棒との相関ピーク強度はFと小丸との相関強度に比べ、低い値で出力される。本来、Fの入力に対しては縦棒の方がFと小丸よりも相関度が高いはずである。この理由は、小丸のパターンが縦棒のパターンに比べて、フィルタ作製時の透過光量が多いためであると考えられる。本研究で提案している認識アルゴリズムで処理する場合、Fの入力に対しては、縦棒との相関の方が強く出力されることが望ましい。そこで、このままでは認識プロセスにおける2値化処理が困難となる。すべての参照パターンに対する相関信号強度が、相関度に応じて、かつ所望のピーク強度は皆等しく出力することが最も望ましい。このためには、①入力する個々の未知文字を透過する光量が互いに等しく、かつ、②9個の各参照パターンそれぞれの透過光量が皆等しいことが必要条件となる。

被認識パターンが同一フォントの文字の場合、その各文字を構成する面積が異なるため①の条件を満たすことは不可能である。そこで本研究では②の条件によってピーク強度の均一化を図った。しかし、9個すべての参照パターンの透過光量を均一にすることは①が不可能であることから、実際にはきわめて困難である。したがって、それら9個のパターンのうち、相関の少ない場合にも、極度に強いピークを与える、小丸とKの右半分のパターンの透過光量を減らすことを考えた。その二つのパターンの面積とエッジの情報の保持を考慮し、小丸はそのまま中抜き、Kの右側は上のみを中抜きにして透過光

量を減らすことにより、極度に強い相関ピークを低下させることができた。したがって、フレームメモリのグレースケールレンジをフルに活用することができ、相対的に SN 比の向上が図られ、ピーク出力信号の 2 値化処理が容易になった。

### 5. デジタル処理のアルゴリズム

光学的に出力されたピーク信号から部分要素の種類とその位置の情報を得るため、Fig. 6 に示すフィールド(セクション)と、フィールドをさらに分割するパートと呼ぶ領域を今回の実験で新たに設計した。これは同じ種類の部分要素であっても、文字によってはその要素が異なった場所に存在するため、その部分要素が文字のどこの位置に存在するのかという情報が、非常に重要となるからである。例えば、縦棒の要素を見ると、B, E, Fなどは文字の左側にその要素を一個含んでいるが、YやTなどは中央にその要素を一個含んでいる。さらにHやMなどについては左側と右側に2個の縦棒の要素を含んでいる。つまり、部分要素自身の形状のみならず、その部分要素の数や存在する位置も文字の特徴を示しているわけである。このほかにも横棒の要素、小丸、Vの要素はその存在位置の情報がきわめて重要であると考え、これらの部分要素のフィールドに、パートという範囲を導入した。

入力文字がPである場合の識別について、Fig. 6を用いてさらに具体的に説明する。まず、文字‘P’と9個の部分要素からなる参照パターンとの相関が実行される。その結果、文字を構成している部分要素と似ている部分

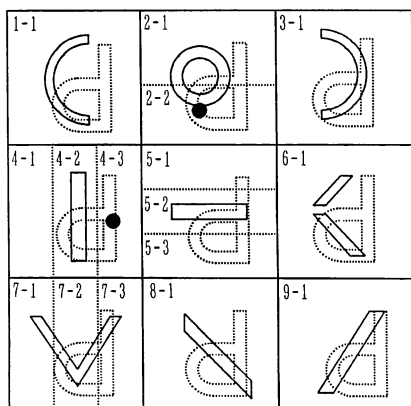


Fig. 6 Field distribution according to each feature extracted pattern in the observation plane is shown. Some fields have two or three parts.

パターンの位置に相関ピークが出力される。Fig. 5 (b) のシミュレーションの結果と同様に、Pが入力された場合、フィルタリングシステムに二重回折系を用いているため、各参照パターンの中心に対して反転した位置に相関ピークが出力されていることを考慮すると、縦棒要素を左側に、小丸の要素を上を持つことを示すフィールド、パートのみに相関ピーク信号が出力される。つまり、出力面 4-3, 2-2 のパートにピークが出力され、残りのパートにはピークは出力されない。このとき、得られたピークの分布パターンから、入力文字を推測する論理式を  $(4-3=true)$  and  $(2-2=true)$  then P, すなわち、「縦棒の要素を左側に一個、小丸の要素を上到一个のみを持つアルファベットは P である。」とすることによって、デジタル系において入力文字を決定することができる。

認識プログラムの処理は以下のような操作で実行される。

- (1) 入力未知文字数によって決定されるフィールド、セクション、パートからなる枠を光学系の出力面に設定する。
- (2) 各フィールドごとにしきい値を設定し、相関ピークを 2 値化する。
- (3) 2 値化されたピーク信号を検索し、得られた真偽データについて論理演算を実行し、真偽データから入力文字の決定を行う。
- (4) 認識結果を CRT へ出力する。

以上の処理がデジタル系で実行される。

本システムにおいて、デジタル処理における従来のアルゴリズムでは、9個のフィールド全部をスキャンしたのち、得られた情報と論理式の条件が一致した文字を認識結果として出力していた。しかしそのアルゴリズムでは9個のフィールドの全部がスキャンの対象となるため、スキャン面積が広くなり、処理に多くの時間を費やしていた。そこで今回提案するアルゴリズムでは、ハイブリッドシステムの処理時間の大部分を占めるデジタル系の処理時間の短縮を図るため、入力物体に対してそれぞれ設定されるフィールドを全部スキャンするのではなく、できるだけスキャンの対象となるフィールドの数を減らし、ピークスキャンの面積を減少させる工夫がなされている。そこで次にこのアルゴリズムについて説明する。

ピークスキャンの面積を最小にする具体例として、文字Pが未知物体として入力された場合に、ピークの出力パターンをスキャンする過程について、Fig. 7を用い

て説明する. 未知入力として用いられているアルファベット 26 文字の大半は, 縦もしくは横の要素を含んで構成されているため, まず縦棒についての情報と横棒についての情報を得ることで, システムに入力された未知文字を数種類の候補に絞ることができる. そこで, ピークを処理する第1段階として, フィールド4とフィールド5のみをスキャンする. この場合, Pを入力すると, 4-3のみが true という情報が得られるので, 入力文字の左側が縦棒の要素によって構成されていることがわかる. この段階でシステムに入力されている未知文字は, 認識対象としているアルファベット文字の中で文字の左側に

縦棒要素のみを有している文字 B, D, K, P, R に限定される. そしてこれら5個の文字をさらに識別するためには, フィールド2, 3, 6, 8からの情報が必要であることがわかる. つまり,  $6-1=true$  であればKであり,  $2-1=true$  and  $2-2=true$  であればBであると識別することが可能となる. そこで第2段階として, フィールド2, 3, 6, 8をスキャンし, それらのフィールドの情報を得て, 最終的に論理式  $(4-3=true)$  and  $(2-2=true)$  を満たすPという文字を入力された文字と決定する.

以上のスキャンの方法を用いることで, 入力なしの場合を除いて, スキャンする面積が最大の場合で, 8領域のフィールドをスキャンすれば良く, 最小の場合, フィールド4, 5の2箇所のみをスキャンによって, 文字を決定することも可能となる (例: E, F等). 今回提案するシステムにおいては, 従来に比べてピークスキャンする面積を大幅に削減することができ, 結果としてデジタル系の処理時間を1/4ほど短縮することができる.

## 6. 実験と結果

マッチトフィルタを作製する際に用いた参照パターンを Fig. 4 に示す. 参照パターンは写真乾板 Konica High Resolution Plate に記録し, 透過物体を作製した. この物体を用いて, 反射型フーリエ変換ホログラム作製の手法により, Fig. 8 に示す光学系を用いてマッチトフィルタを作製する. フィルタ作製の露光の際, 乾板の乳剤面は物体光側とした. またフィルタ作製に用いた光学素子の仕様を, Table 1 に示す. ここで反射型ホログラムの手法を用いた理由として, フィルタリング系のコンパクト化と, フィルタの高回折効率を得られることの2点が挙げられる. ホログラム用写真乾板には, Agfa 社 8 E 75 HD を用いた. 参照光と物体光の交差角度は約  $30^\circ$ , 参照光と物体光のフィルタ面での強度比は約 1:4 である. 露光時間は 2s である. 露光した乾板

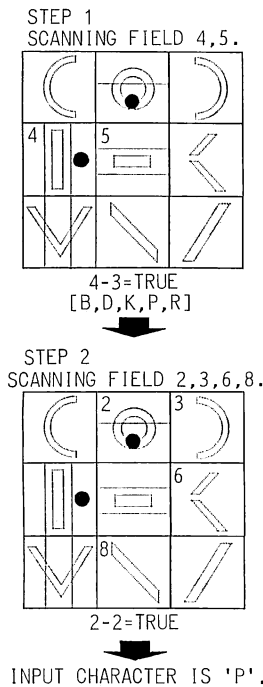


Fig. 7 New algorithm to minimize scanning area of the fields in digital processing.

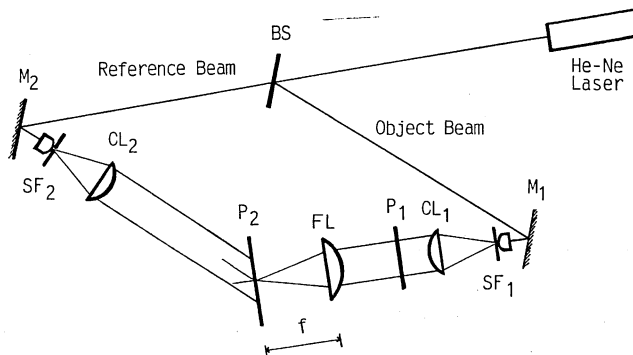


Fig. 8 A setup for synthesizing a matched spatial filter.

は、Table 2 に示す現象、漂白処理を施して、マッチトフィルタを得た。

Iを除くアルファベット 25 文字で構成されている、Fig. 9 に示す透過物体を未知入力パターンとして用いた。ここで I を除外した理由として、I が縦棒要素の参照パターンと同一であるため、その認識が容易であると予想されることと、5×5 の正方状の入力物体としたためである。未知入力パターンは参照パターンと同様の写真乾板に記録されている。乾板上での文字の大きさは、縦はすべて同じ寸法 (0.9mm) で、横は文字 W の 1.1mm が最大である。

次にマッチトフィルタリングについて述べる。Fig. 2 においてマッチトフィルタを P<sub>2</sub> 面に配置し、未知入力

**Table 1** Specifications of optical elements for synthesizing a matched spatial filter.

Optical element	Specification
Beamsplitter BS (T : R)	13 : 1
Mirror M <sub>1</sub> , M <sub>2</sub>	$\phi = 50 \text{ mm}$
Spatial filter SF <sub>1</sub> , SF <sub>2</sub>	$5 \mu\text{m}, \times 40$
Collimating lens CL <sub>1</sub> , CL <sub>2</sub>	$\phi = 73 \text{ mm}, f = 250 \text{ mm}$
Fourier transform lens FL	$\phi = 73 \text{ mm}, f = 250 \text{ mm}$

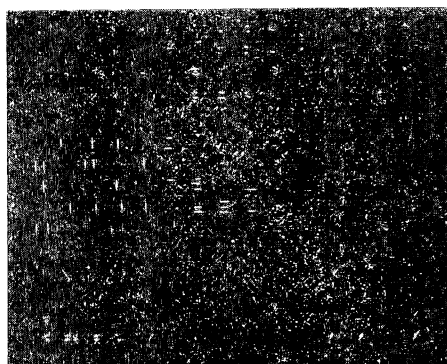
**Table 2** Processing procedure for an Agfa 8E 75 HD.

Step	Process	Time	Temperature
1	Develop	2 min in CW-C 2	20°C
2	Wash	2 min in water	20°C
3	Bleach	5 min in PBQ-2	20°C
4	Wash	10 min in running water	—
5	Dry	slowly	at room

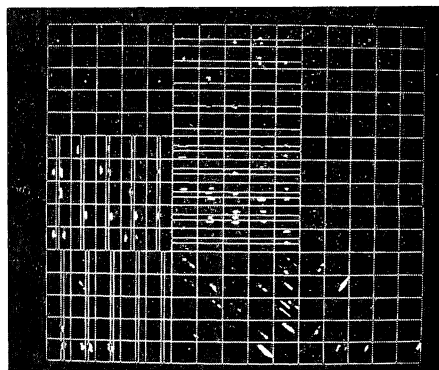


**Fig. 9** Input unknown object.

物体として、Fig. 9 の透過物体を P<sub>1</sub> 面に挿入する。このとき、P<sub>3</sub> 面には実時間で光学的な相関信号が出力される。出力された光学的相関によるピーク信号を Fig. 10 に示す。この出力信号を CCD カメラでフレームメモリに格納する。使用している機材の性能の都合上、フレームメモリのデータを一度フロッピーディスクに保存する。そして、再びフロッピーディスクからこのデータをマイクロコンピュータに読み込み、未知入力の部分要素の種類とその位置の情報を得るために枠の設定処理を行い、各フィールドごとに 2 値化する (Fig. 11)。さらに各フィールド、各セクション、各パートのピークの有無を検索し、入力パターンの特徴を示す部分要素の種類とその位置の情報を得る。その情報に対してあらかじめ立案された論理演算を施すことにより、入力された文字の識別を行う。CRT に出力された認識結果を Fig. 12 に示す。この結果から、入力として用いた未知パターンと本システムによる認識結果が完全に一致していることがわかる。



**Fig. 10** Observed signals when the object shown in Fig. 9 is input.



**Fig. 11** Binarized peak data of Fig. 10 on the CRT display. Overlapped frames help to show in which field or part the peak is.

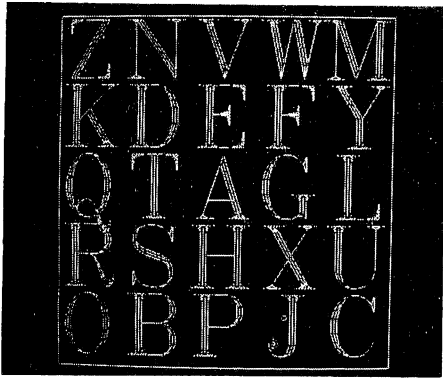


Fig. 12 Result of recognition on the CRT display.

## 7. 結 言

本研究では、多重マッチトフィルタの識別能力の向上のため、参照パターンとして被識別文字の特徴を抽出した部分パターンを用いて、フィルタを作製した。さらにパートという概念を導入することにより、相関度の高いパターンを含む 25 個の文字パターンを一度に識別することができた。そして、残る 1 つについても縦棒要素の部分参照パターンと同じ形状であるので、容易に認識可能と考えられる。したがって、本報告で提案した手法とシステムによって、アルファベット 26 文字を 9 個の部分参照パターンで識別可能であることが明らかになった。

またこのことにより、マッチトフィルタを特徴抽出へ応用することの有効性が明らかになった。

今後この手法を一般的なパターンに応用するためには、最適部分パターンの決定方法が問題となる。被認識

パターンが文字、数字あるいは単純な幾何パターンの場合、マッチトフィルタの特性の一つである回転角依存性<sup>8)</sup>を利用して部分パターンを決定することにより、テンプレートマッチングと特徴抽出を巧みに合わせた手法をマッチトフィルタに応用した、高度な画像処理が可能であると考えられる。

本研究を進めるに当たり、常日頃から測定機器等のご協力をいただいている、本学電気電子工学科安久正紘教授に深く感謝いたします。

## 文 献

- 1) A. V. Lugt: "Signal detection by complex spatial filtering," *IEEE Trans. Inf. Theory*, **IT-10** (1964) 139-145.
- 2) M. Nakajima, T. Morikawa and K. Sakurai: "Automatic character reading using a holographic data processing technique," *Appl. Opt.*, **11** (1972) 362-371.
- 3) S. P. Almeida and J.-K. T. Eu: "Water pollution monitoring using matched spatial filters," *Appl. Opt.*, **15** (1976) 510-515.
- 4) 清水 勲, 浅川修一郎, 亀丸俊一: "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** (1988) 361-366.
- 5) S. Kamemaru, T. Nagaoka, M. Kakuta and I. Shimizu: "Multiple matched spatial filtering with corresponding symbols by the hybrid system," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **29** (1990) L1557-L1560.
- 6) G. Winzer and N. Douklias: "Improved holographic matched filter systems for pattern recognition using a correlation method," *Opt. Laser Technol.*, **4** (1972) 222-227.
- 7) 矢野潤一, 亀丸俊一: "部分相関によるハイブリッドパターン認識システムの研究", 第 51 回応用物理学学会学術講演会予稿集, 28 p-K-6 (1990).
- 8) P. D. Gianio and J. L. Horner: "Additional property of the phase-only correlation filter," *Opt. Eng.*, **23** (1984) 695-697.