

多重フィルタリング法の概念による 自己相関信号の解析に関する基礎研究

矢野潤一*, 亀丸俊一**

(平成2年8月28日受理)

Fundamental Analysis of an Autocorrelation Signal
by the Concept of Multiplexed Matched Spatial Filtering.

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

ABSTRACT—When we recognize a word JAS in a page of a text by an optical pattern recognition system with a matched spatial filter, we form the filter using the same pattern JAS as a reference object. In the conventional matched spatial filter theory, the word to be detected is regarded as one pattern, therefore, only one autocorrelation peak is given in one identification. In this paper, we propose a new theory for the analysis of an autocorrelation peak signal. On the basis of the multiplexed matched spatial filter theory, we show, in the paper, the analysis of the autocorrelation signal that it is composed of three autocorrelations from 'J', 'A' and 'S' and it actually appears in the same position to be superposed.

1. 緒 言

数多くの光情報処理のうち、並列アナログ処理の代表として、レンズの空間的なフーリエ変換と相関演算を基本とする光学的マッチトフィルタリング¹⁾がある。

本報告では、幾つかの文字からなる単語をマッチトフィルタによって検出した際に出力される、自己相関ピーク信号の解析を行う。従来の研究では、このフィルタリングの際、所望の単語を新たなひとつのパターンとみなし、単語単位の情報がフィルタに記録されて

いると考えられていた。したがって、マッチトフィルタリングによる単語の検出に際し、単語1個の認識に対して1個のピークが出力するとみなされていた。一方、我々の提案する多重マッチトフィルタリング法の概念²⁾によれば、単語検出の際に出力する1個のピークは単語を構成している文字各々の自己相関信号の重なりであると考えられる。この理論を適用すると、光学的パターン認識においてマッチトフィルタリングを実行した際に、出力されるピーク信号の重なりを定量的に解析することができ、より正確なパターン認識が可能となる。

*茨城大学大学院工学研究科精密工学専攻（日立市中成沢町）

Graduate Student, Department of Precision Engineering, Faculty of Engineering, Ibaraki University, Hitachi, 316, Japan

**茨城大学工学部精密工学科（日立市中成沢町）

Department of Precision Engineering, Faculty of Engineering, Ibaraki University, Hitachi, 316 Japan

本研究では、 2×2 に配列した文字Aでマッチトフィルタを作製した際のピーク信号について、理論的な考察と定性、定量的な実験により、我々の提案する仮定を検証してゆく。

2. 多重マッチトフィルタとフィールドの概念について

従来の報告では1枚のマッチトフィルタでは1個の物体しか認識できなかったが、我々の提案した方法により、1枚のフィルタを用いて、多数のパターンを同時に検出することが可能となった³⁾。このフィルタを多重マッチトフィルタという。

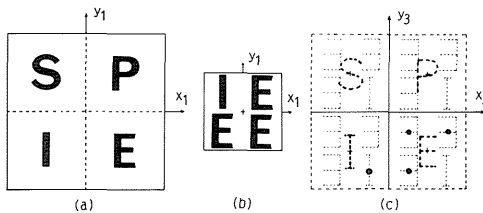


Fig. 1 Concept of multiplexed matched spatial filtering. (a) Input plane for the reference pattern for synthesizing the filter for recognizing four characters S, P, I and E, (b) input unknown object in the input plane of the filtering system, (c) output correlation plane of the system. Black heavy dots show autocorrelation peaks.

多重マッチトフィルタの概念をFig.1に示す。まず、Fig.1(a)のような文字配列を所望の参照物体として、フーリエ変換プログラムを作製する。これを多重マッチトフィルタとする。この場合、観測面 P_3 で左上1/4には、文字Sの自己相関信号として、明るい輝点（ピーク）が、右上1/4には文字Pのピークが、左下1/4には文字Iのピークが、右下1/4にはEが、それぞれ、空間的に分離されて、出力することが知られている。これらの空間を、それぞれ、Sのフィールド、Pのフィールド、Iのフィールド、Eのフィールドと呼ぶ。また、各文字の認識信号としてのピークは、それぞれのフィールドの中心に対して、点対称に出力する。そこで、Fig.1(b)に示す入力物体が入力面 P_1 に入力される場合について考える。Sのフィールドの中心に入力の中心を合わせる。入力中に文字Sが存在しないからSのフィールドにはピークは出力されない。同様にPの

フィールドについても考えるとピークは出力されない。Eのフィールドについて考えると、入力中に文字Eが3個存在するので、それぞれ文字Eの存在する位置にピークが出力する。最後にIのフィールドについて考えると入力中に文字Iが存在するので文字Iの存在する位置にピークが出力する。このようにして多重マッチトフィルタは1枚のフィルタで数種類の所望の文字を認識することができる。

3. 多重マッチトフィルタの概念の拡張

マッチトフィルタリング法により、ある単語をフィルタに記録して文章中からその単語を検出した場合、検出した単語の中心位置に自己相関信号のピークが出

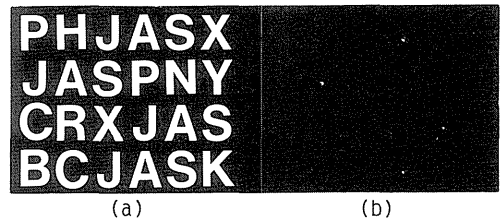


Fig. 2 Matched filtering operation identifying the word JAS. (a) Input unknown text, (b) detected four peak signals.

力されることが従来から知られている。例えば、Fig.2(a)のような文字の集まりからJASという単語を検出すると、Fig.2(b)のような明るい輝点ピークが単語JASの存在するところに信号として出力される。但し、光学的フーリエ変換が2回施される光学的相関演算のため、実際の出力は天地逆となる。このピークは文中の検出しようとする単語、つまりフィルタに記録されている単語と同一、または相似度の極めて高いパターンが入力されているときに出力される信号である。従来はフィルタに記録されている単語全体を新たに1つの参照パターンとみなし、このパターンと入力画像との相関を行い、この認識ピークが単語の存在する中心位置に出力していると考えられていた。しかし、ここで単語を構成する各文字を1つの参照パターンとみなすことにより、単語の認識プロセスに多重マッチトフィルタの概念を応用する。入力される文中の各文字とフィルタに記録されている単語を構成している各々の文字との自己相関のピークが重なって、ひとつのピークとして出力しているという仮定をたてる。

具体的な単語を例にとって説明する。まず, JAS という単語を参照パターンとし, この文字を検出するためマッチフィルタを作製する。次に参照パターンと同一のパターンを入力する。当然単語の中心付近にピークが1個出力することになる。従来からのマッチフィルタの概念であれば, フィルタに記録されているJASを1つのパターンと見なし, これとまったく同じパターンが1個入力された場合にその相関ピークが, 存在する単語の中心に1個出力すると考えられていた。しかし, これに多重マッチフィルタの概念を応用して, 出力ピークを分析してみる。つまり, ここで単語JASとしてフィルタに記録された, 参照パターンの単語の各文字と入力文字列との相関を考える。フィルタ上の各参照文字の中心をフィールドの中心とし, 各文字の自己相関ピークの出力位置を推定する。

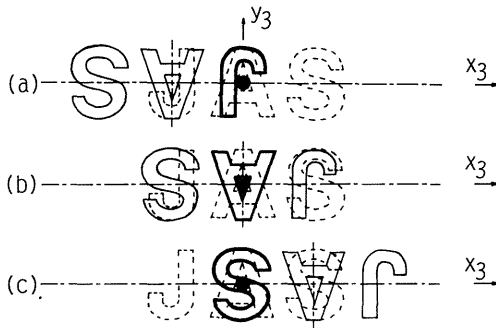


Fig. 3 Analysis of an autocorrelation peak signal when identifying a word JAS. (a) Analysis of the peak considering a contribution from the autocorrelation signal by the character J. (b) Contribution from A and (c) from S. Black dots show each peak which is superposed in the same position in the output plane.

Fig.3のように同一平面に記録されている参照パターンを分割し, それぞれのフィールドの中心に入力物体の文字列を点対称に反転した物体を重ねる。このときJのフィールドには, 入力物体のJのある位置にFig.3(a), Aのフィールドでは, 入力物体のAのある位置にFig.3(b), そして, Sのフィールドならば, 入力物体のSのある位置Fig.3(c)にそれぞれのフィールドの自己相関ピークが出力する。この出力する位置は, 我々の提案している多重マッチフィルタの概念で考えるとすべて参照文字列の中心となっている。

従って, 我々は今後の実験において次のような仮定を適用してゆく。つまり, 単語の中心に出力されるピークは, 単語を構成している文字の自己相関ピークが多重マッチフィルタの概念によって説明される位置に重なり合って1個のピークとなって出力されている。そしてこの仮定を自己相関信号の定性的, 定量的考察で立証してゆく。

4. 実験と結果

4-1 物体用の乾板の作製

ピークの重なりを考察するため, 同形状の文字Aを正方状(2×2)に配列し, フィルタ作製のために用いる参照物体を作製した。ここで, 同形状の文字を使用した理由は1個の文字に対して出力される相関ピークの強度を一定にするためである。作製した物体をFig.4に示す。

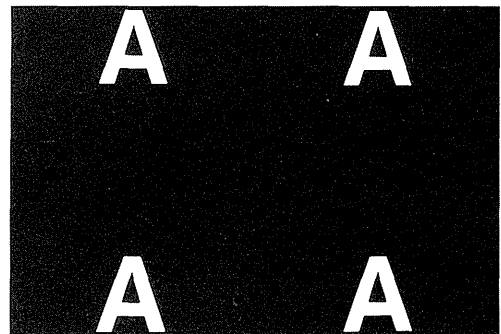


Fig. 4 Reference pattern used for synthesizing the MMSF. Four As are recorded on a photographic plate as a transparency. Separations are 0.8 mm, respectively.

物体の原図には, 市販のインスタントレタリングのアルファベットを複写機により拡大したものをA3のデルミナ用紙に貼付けて使用し, コニカ High Resolution plateに記録した。接写撮影にはコピースタンドを使用した。光源には, 15Wの蛍光灯をコピースタンドの左右にそれぞれ1台ずつ計2台配置した。カメラレンズには標準レンズを使用し, 焦点距離は $f = 50$ mm, 絞り5.6, 露光時間60[sec]である。現像条件をTable 1に示す。

Table 1 Processing procedure for Konica High Resolution Plates.

Step	Process	Time	Temperature
1	Expose	60 [sec]	
2	Develop	5 [min] in D-19	20°C
3	Stop	2 [min] in CH ₃ COOH	-
4	Fix	20 [min] in Fuji fix	-
5	Wash	30 [min] in running water	-
6	Dry well	2 [min]	-
7	Dry	slowly	at room

4-2 マッチトフィルタの作製

今回の実験においてマッチトフィルタの作製に用いた光学系をFig. 5に示す。

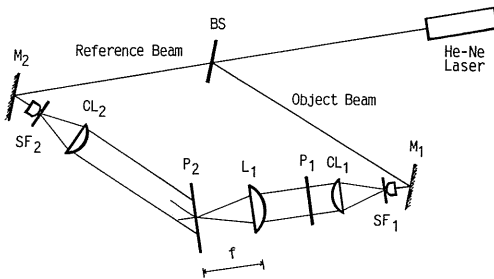


Fig. 5 A setup for the filter synthesis. A He-Ne laser is used as a light source. A reference pattern is set in P₁, and a hologram plate in P₂. A reflection hologram is formed.

この光学系では、5mWのHe-Neレーザを光源とし、その光はビームスプリッタBSを介して3対1の強度で物体光と参照光に分けられる。そのうち、物体光はミラーM₁で反射され、スペツシャルフィルタSF₁を通ることによって、球面波に変換されたのちに波面が整えられる。その後コリメートレンズCL₁によって平

Table 2 Processing procedure for Agfa 8E75HD Plates.

Step	Process	Time	Temperature
1	Expose	4 [sec]	
2	Develop	2 [min] in CW-C2	20°C
3	Wash	2 [min] in water	20°C
4	Blenach	5 [min] in PBQ-2	20°C
5	Wash	10 [min] in running water	-
6	Dry	slowly	at room

Table 3 Specification of optical elements.

Optical Element	Specification
Beamsplitter BS	3:1
Mirror M ₁	φ=50mm
Mirror M ₂	φ=50mm
Spatial Filter SF ₁	5μm × 20
Spatial Filter SF ₂	5μm × 20
Collimating Lens CL ₁	φ=73mm
Collimating Lens CL ₂	φ=73mm
Fourier Transform Lens FL ₁	φ=73mm
Fourier Transform Lens FL ₂	φ=73mm

行光とされ、P₁面を照射する。このときP₁面にマッチトフィルタを作製するための参照物体を置く。参照物体として用いた透過物体をFig.4に示す。物体光はP₁面の参照物体を照射し、この情報を取り込んだ後、レンズL₁によって光学的フーリエ変換され、P₂面に参照物体のフーリエ変換像が結像される。このとき、ビームスプリッタBSから物体光と同程度の光路長を経た平行光を、参照光としてP₂面に同時に照射し、位相と振幅の情報を同時にホログラム乾板に記録する。本研究では、反射型ホログラムの手法を用いてマッチトフィルタを作製したため、参照光はFig.5に示すように物体光に対して乾板の裏側から照射した。また、乾板の乳剤面は物体光側に設定し、P₂面に挿入した。ホログラム乾板としてAgfa社製8E75HDを使用した。露光、現像処理および光学素子の仕様をTables 2,3に示す。

4-3 マッチトフィルタリング

まず、参照パターンと同一の画像が入力された場合を想定し、参照物体そのものを入力物体に使い、これをP₁面に挿入しマッチトフィルタリングを行った。その出力結果をFig.6に示す。

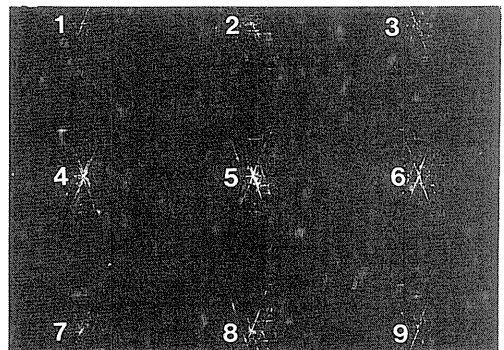


Fig.6 Output signals when input in Fig.5 is inserted in the system.

参照パターンと同一の画像が入力されると中心に最も明るいピークが1個出力され、この最も明るいピークを含め、全部で9個のピークが出力された。Fig. 6に示すように、これらのピーク的位置を便宜的に左上から右へ、そして下へ順に1~9とする。そして、この中心の最も明るいピーク5は参照パターンの画像が入力画像中に存在していることを意味している。出力されているピークの解析にあたり、まず中心のピーク5を分離することにより、このピークが幾つもの出力ピークが重なっていることを明らかにする。

参照物体と同一の物体、文字の間隔を参照物体の文字の対角線長の1/8, 1/4, 1/2だけ、それぞれの文字を内側に移動させた4種類の画像をフィルタリング系に入力した。そのときの出力結果をそれぞれ順に Fig. 7に示す。

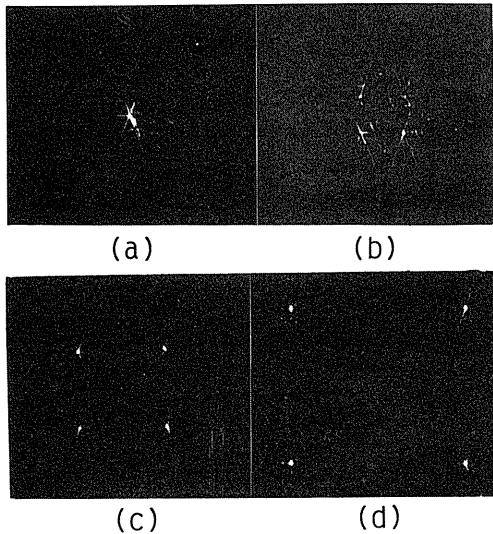


Fig. 7 Observed autocorrelation signals when four kind of objects recorded character As with different separations are input. The object has four As with separations, (a) 10.8mm, (b) 9.5mm, (c) 8.1mm and (d) 5.4mm, respectively.

4-4 定量的な実験と結果

ピークの重なりを定量的に考察するため、参照物体と同一の物体を入力したときの出力結果 Fig. 6 の 9 個のピークを CCD カメラで取り込み、フレームメモリを介して 256 階調の数値データに変換したものを強度として測定した。測定結果を Fig. 8 に示す。

5. 考 察

5-1 定性的実験の考察

Fig. 7 は入力中の文字 A の間隔が変化すると、ピーク的位置も変化するという光学系における線形性を表していることは言うまでもない。ここで、参照物体の文字の間隔と入力物体の文字の間隔が非常に近い物体を入力したときの出力状態を推定すると、中心の最も

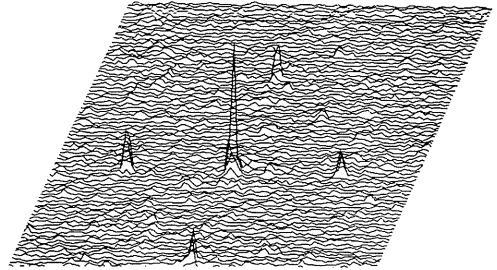


Fig. 8 Intensity distribution of the output plane when autocorrelation signals shown in Fig. 6 are observed.

明るいピークが 4 個に分離されていくことがわかる。すなわち、中心のピークは参照パターンを構成する各文字の自己相関ピークが重なって形成されていると考えることができる。

5-2 定量的な考察

参照パターンと同一の物体を入力した場合には、中心以外にも全部で 9 個のピークが出力された。この出力された 9 個のピークすべてを自己相関のピークとみなすとき、出力された 9 個のピークは多重マッチトフィルタの概念により、次のように参照物体を構成している文字の自己相関のピークの重なりであることが説明できる。

まず、左上のフィールドの中心に入力物体の中心を一致させる。そのとき、入力した A のある位置、つまり、フィールドの四隅にピークが出力される。右上、左下、右下のフィールドについても同様に考えると各フィールドの四隅にピークが出力される。このとき中心 (5 の位置) のピークは 4 個のピークの重なりとなることがわかる。また、2, 4, 6, 8 の位置のピークは 2 個のピークの重なりからなっていることがわかる。残りの 1, 3, 7, 9 の位置の四隅のピークは 1 個のピークのみからなっていると考えられる。

次に Fig. 8 を定量的なデータとして考察する。まず、Fig. 8 のバックグラウンドとしてのバイアス値を求め

る。本実験で意味するところのバイアス値とはCRT画面の全画素の256階調の数値データの総和10175028を画素数640×400で除したものである。このとき実験のデータから求められたバイアス値は39である。各ピークデータからバイアス値を差し引いた数値をピークの明るさとし、中心のピーク5の数値を16として強度比を計算し、そして強度比の平方根を振幅比とした。それらの数値をTable4にまとめた。

Table 4 Numerical intensity distribution of autocorrelation signals. 8-bit brightness reduced bias intensities is shown in upper row. Setting the value of peak 5 to 16, squared amplitude of each peak is calculated and shown in middle row. Amplitude values are calculated by setting the reduced brightness of 5 to 4 and shown in lower row.

① 9 0.75 0.87	② 55 4.61 2.15	③ 7 0.59 0.77
④ 57 4.77 2.18	⑤ 191 16 4	⑥ 40 3.35 1.83
⑦ 10 0.84 0.92	⑧ 46 3.85 1.96	⑨ 9 0.75 0.87

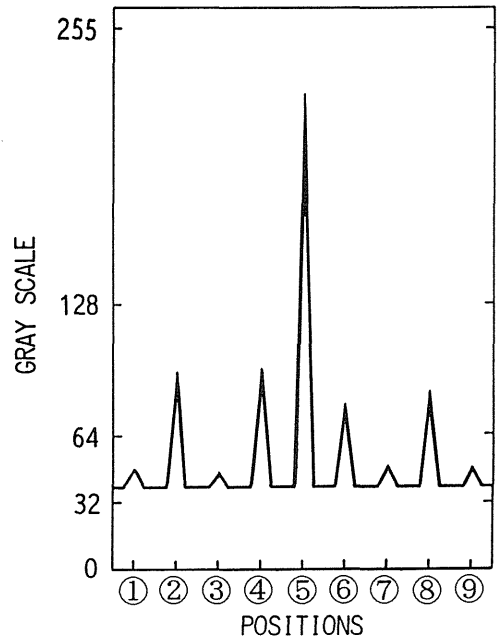


Fig. 9 Cross sections of intensity distributions shown in Fig. 8. The vertical axis shows 8-bit gray scale and the horizontal axis, position of each peak.

また、バイアス値を考慮にいれたピークの強度と位置の関係をFig.9に示す。理論的にはピークの重複度1, 2, 4に従って振幅比は1:2:4, そして強度比は1²:2²:4²になると予想される。得られたデータを眺めてみるとFig.9からピークの信号は振幅比では1:2:4, 強度比では1²:2²:4²となる傾向がみられる。すなわち、得られたピークの強度から導かれた、各ピークの振幅比、強度比という定量的なデータから、単語検出などの際中心に出力されるピークは各文字の自己相関ピークの重なりであると考えられる。しかし今回得られた結果を再度定量的にながめると、ピークの重複度に従って厳密には振幅比が1:2:4, また、強度比で1²:2²:4²にはなっていない。これは、入力面を照明する光の強度分布の不均一さが原因であると考えられる。

今回は単語の最小構成要素を文字として、ピークの重なりについて考えた。単語のように構成要素が複雑でかつ多数のパターンをマッチフィルタによって検出する場合、ピークが出力されたからといってすぐに単語が検出されたと考えるのは安易である。構成要素が複雑で多数の文字からなる参照パターンの場合や、

参照パターンと極めて似ているものが入力中に存在しているとわかっている場合は, 較正のため参照パターン自身を入力し, 検出の際, 出力される相関ピークの強度を比較することにより, より正確なパターンの検出につながると考えられる。さらに強度の比較を行うに際してはビームの光強度分布による入力面の照明の不均一などを考慮に入れることも忘れてはならない。

6. 結 言

本研究では, 単語のように複数の要素からなるパターンを従来のマッチトフィルタリング法により検出した場合, 出力される1個のピークが, パターンを構成している幾つかの要素の自己相関ピークの重なりであることが, 定性的, 定量的に確認できた。

この結果を入力画像と参照画像の相関度の定量的な測定に応用し, より正確なパターン認識システムを構築することが今後の課題である。

謝 辞

本研究を進めるに当たり測定機器等の便宜をはかってくださった, 本学電子工学科安久正紘教授に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) A. Vander Lugt: Signal Detection by Complex Spatial Filtering, IEEE Trans. Inf. Theory, IT-10(1964), p.139.
- 2) 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とその位置の同時識別法, 光学, 17, (1988), p.361.
- 3) S. Kamemaru, M. Kakuta and I. Shimizu: Optical Pattern Recognition with Object-Multiplexed Reflection-Type Matched Spatial Filters, Opt. Commun., 69, (1989), p.211.