HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	空間変調を用いたマッチトフィルタリングによる漢字の特徴抽出
Author(s)	仲谷, 元; 青木, 由直
Citation	北海道大學工學部研究報告, 76, 99-107
Issue Date	1975-08-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41288
Type	departmental bulletin paper
File Information	76_99-108.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学工学部研究報告
第76号 (昭和50年)

Bulletin of the Faculty of Engineering,
Hokkaido University, No. 76 (1975)

空間変調を用いたマッチトフィルタリングによる漢字の特徴抽出

仲谷　元*　青木由直*

(昭和49年12月15日受理)

Feature Extraction of Chinese-Characters by Matched Filtering using Spatial Modulation

Hajime NAKATANI　Yoshinao AOKI

(Received December 27, 1974)

Abstract

In this paper, we have considered the matter of feature extraction of Chinese-characters by matched filtering using spatial modulation.

Higher diffraction orders in the frequency plane can be obtained with the aid of spatial amplitude modulation by a two-dimensional diffraction grating. If the grating is rotated to some angle, such diffraction orders will rotate by the same amount around the center of the frequency plane. Consequently, if the filters are set in a circle adjusted to the diffraction orders, it is possible to perform matched filtering operations in a suitable way for Chinese-characters recognition.

In Chinese-characters recognition, the gradational process should be adopted. Radical extraction by matched filtering operations is applicable to first classification.

1. まえがき

印刷漢字の自動認識に関しては，最近いくつかの報告がなされている[1),2)]。漢字は認識対象となる文字数が非常に多く，構造も複雑であることから，その自動認識は認識速度および認識装置の経済性の点で英数字の場合と比べて困難な問題となる。光学的な認識方式はアナログ的，空間的な要素をもっていることから，二次元パターンである文字を多数，高速で認識する上で有利であり，漢字の自動認識には都合が良い方法である。また漢字認識に対しては，最初に分類処理をおこなってカテゴリを減じた後に識別処理をおこなうというような段階的な処理方式を採用することが望ましい。分類処理としては，漢字の共有する偏，冠などの部首による漢和辞典式の方法が考えられる。

ここでは，漢字認識のための分類処理に使用できる光学的手段による漢字の特徴抽出法として，二次元回折格子により入力に対して空間的な振幅変調を加えることで得られる分離された高次のフラウンホーファ回折像を利用したマッチトフィルタリングについて実験的検討をおこなっている。

* 電子工学科

2. 空間変調を用いたマッチトフィルタリング

レンズがフーリエ変換の作用をもっていることは良く知られたことであるが，これによって空間周波数フィルタリングをおこなうことができる。この技術はレンズにより周波数面に得られる入力のフーリエ変換像に対して適当な振幅透過率をもつフィルタによりその振幅および位相を変えることで入力に処理を加えるものである。ここで可能となる処理は周波数領域での積の演算，すなわちコンボリューションとコリレーション演算で表わされる処理であることがわかる。したがって，フィルタとして入力のフーリエ変換の複素共役を振幅透過率としてもつもの（いわゆるマッチトフィルタ）を選択することで，式(1)で表わされる入力fの自己相関関数rを得ることができる。

$$r(x,y)=\iint_{-\infty}^{\infty}\left\{F(\nu,\mu)\cdot F^{*}(\nu,\mu)\right\}e^{j2\pi(\nu x+\mu y)}\,d\nu\,d\mu$$
$$=\iint_{-\infty}^{\infty}f(u,v)\,f^{*}(u-x,v-y)\,du\,dv \qquad (1)$$

ただし，$F(\nu,\mu)$は$f(x,y)$のフーリエ変換を，*印は複素共役であることを表わす。

またF^{*}とは異なるフィルタにより同様に相互相関関数を得ることができる。このことから認識対象となる文字に対してマッチトフィルタを用意しておきフィルタリングをおこなえば，入力文字とフィルタが一致したときには自己相関像の特徴である中心の輝度の高い点対称な出力像が得られ，不一致のときには相互相関像として一般に暗い非対称な出力像が得られるわけで，自己相関像の輝点を検出することで文字認識が可能となる。しかし，このようなマッチトフィルタリングにより文字認識をおこなう方法では，認識対象となる文字数が増すにしたがってフィルタリングの回数が増加し認識速度を遅くすることになるから，適切な並列処理法を考える必要がある。

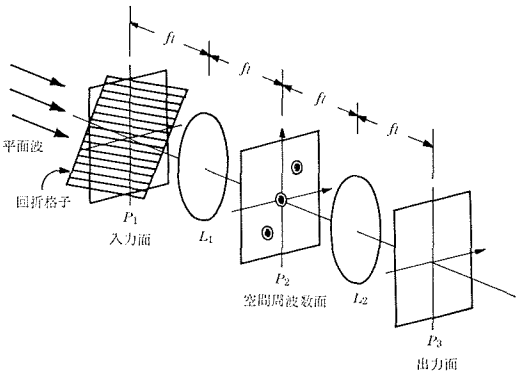


図1 回折格子による空間変調を用いたフィルタリング方式

マッチトフィルタリングのような入力のフーリエ変換像を利用した処理技術では，周波数面上で複数のフーリエ変換像を得ることが並列処理のための条件となる。このための一つの方法が二次元回折格子による空間的な変調を利用するものである。図1に示される光学系が使われる。入力面P_1には回転可能な二次元回折格子が置かれ，被認識文字はこれに接して置かれるか格子上に結像されるかする。P_1面は単一周波数の平面波で照明される。このときP_1面を透過直後の振幅分布U_1は，入力をf，回折格子が余弦状であるとして式(2)で示される。

$$U_1(x,y)=\frac{1}{2}f(x,y)\left\{1+\cos 2\pi(\alpha x+\beta y)\right\} \qquad (2)$$

ただし，α, βは回折格子の格子定数と方位角で定まる定数である。

これがレンズL_1によりフーリエ変換されると周波数面P_2での振幅分布U_2は式(3)で示される。

$$U_2(\nu,\mu)=\iint_{-\infty}^{\infty} U_1(x,y)\,e^{-j2\pi(\nu x+\mu y)}\,dx\,dy$$

$$=\iint_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{2}f(x,y)\,e^{-j2\pi(\nu x+\mu y)}\,dx\,dy$$

$$+\iint_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{4}f(x,y)\,e^{j2\pi(\alpha x+\beta y)}\,e^{-j2\pi(\nu x+\mu y)}\,dx\,dy$$

$$+\iint_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{4}f(x,y)\,e^{-j2\pi(\alpha x+\beta y)}\,e^{-j2\pi(\nu x+\mu y)}\,dx\,dy$$

$$=\frac{1}{2}F(\nu,\mu)+\frac{1}{4}F(\nu-\alpha,\mu-\beta)+\frac{1}{4}F(\nu+\alpha,\mu+\beta) \qquad (3)$$

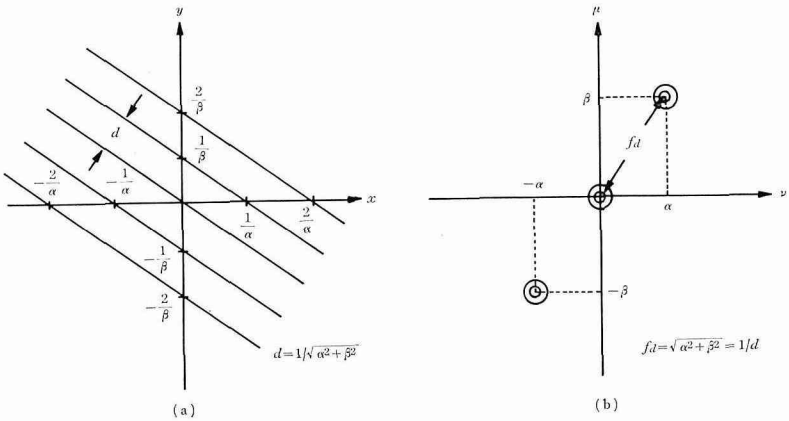


図2　(a) 回折格子と (b) 分離回折像

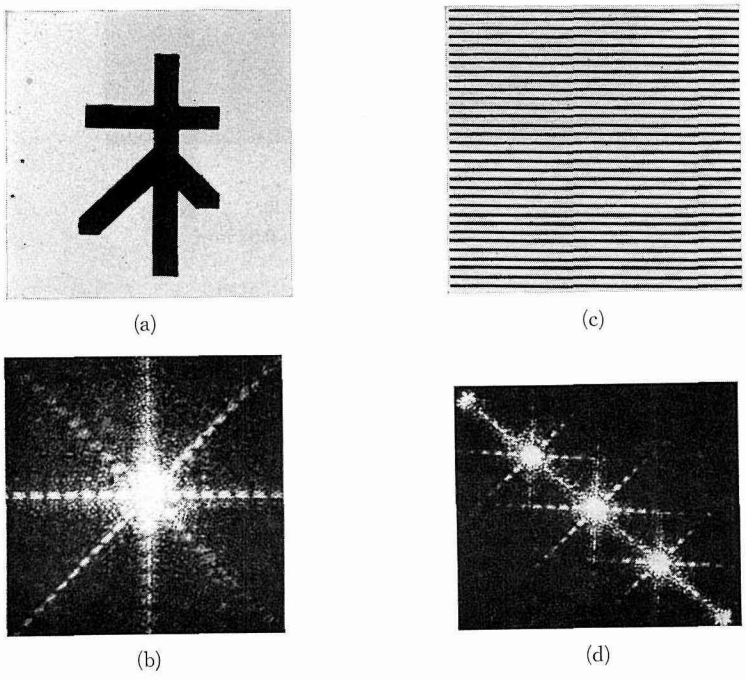
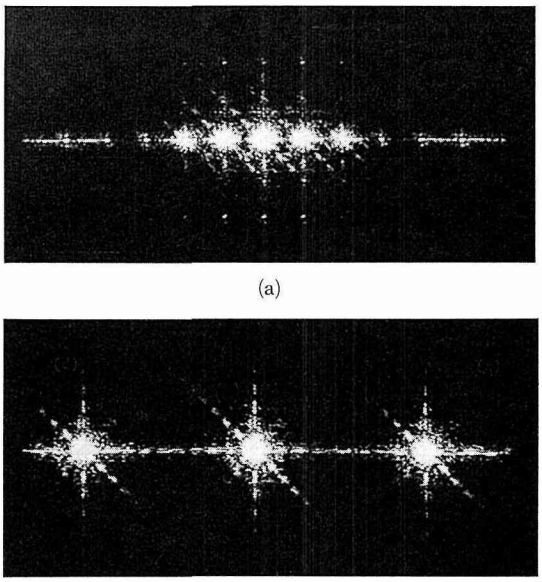


図3　(a) 入力パターンと (b) そのフーリェ変換像
(c) 回折格子　(d) 分離回折像

式(3)は U_2 が入力のフーリエ変換像を三個空間的に分離していることを示している。図2に P_1 面の回折格子と P_2 面の回折像の関係を示す。回折格子の格子定数を d とすれば，$d=1/\sqrt{\alpha^2+\beta^2}$ であり，分離された回折像の距離 f_d は $f_d=1/d$ となる。ただし，この分離距離は空間周波数座標におけるものであり，実寸座標では使用波長 λ，レンズの焦点距離 f_l として $f_d=\lambda f_l/d$ となる。図3(b)のようなフーリエ変換像をもつパターン(a)に対して，(c)に示す回折格子により変調を加えれば(d)のように P_2 面において分離した回折像が得られる。このような分離された高次の回折像は原理的には無限に広がったものであるが，レンズは開口に制限があることで高域しや断特性をもっているから，格子定数を小さく選択することで分離距離が大きくとれ十分に分離できる。図4(a)は $d=0.2$ mm，(b)は $d=0.04$ mm の場合であり格子定数が高次の回折像に与える影響がわかる。



(a)　(b)

図4　格子定数が分離回折像に与える影響
(a) $d=0.2$ mm　(b) $d=0.04$ mm

空間変調により得られる高次の回折像は格子定数が一定のとき，入力面での回折格子の方位角方向に f_d の間隔で存在する。格子が回転した角度だけ，高次の回折像も P_2 面の中心のまわりを同じく回転する。したがって高次の回折像は格子の回転により半径 f_d の円の任意の周上に移動できる。こうしたことから図5に示すように，あらかじめこの円周上に多数のフィルタを配置しておくことで，格子の半回転のうちに全てのフィルタリング操作がおこなえることになる。またこのときの出力は格子の回転に同期して得られる。

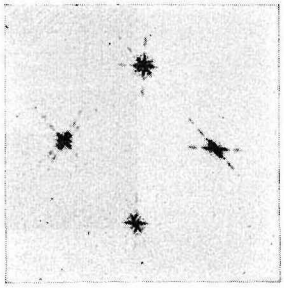


図5　円形配置フィルタ

空間周波数フィルタリングはフラウンホーファ回折像を利用したものであるから，入力面における位置づれに対して強い特徴をもつ。したがって，入力面にある回折格子の回転により各フィルタとのマッチリングをとる方式では，周波数面での位置補正を円形に配置されたフィルタの組に対して最初におこなうだけで良いわけで，

マッチトフィルタリングのように周波数面での位置づれが特に問題となる場合には都合の良い方法である。

3. マッチトフィルタの作成

マッチトフィルタは入力のフーリェ変換の複素共役を振幅透過率としてもつものであるため，強度のみを記録する写真感光材料を使用して作成するには工夫がいる。このための一つの方法は，Vander Lugt によってなされたホログラムの原理を使った記録法である[3]。この方法は位相情報を参照光との干渉縞として記録するものである。一方，Lohmann らによる計算機により作成可能なバイナリホログラムの方法がある[4]。この方法はフィルタの振幅透過率分布を計算機により計算し，このフィルタを図6に示すような縦横 $\delta\omega$ の小さなセルに分け，そのおのおのに対して光を透過させる窓を，その幅 $c\,\delta\omega$ を一定にして，高さ $W_{nm}\,\delta\omega$ を振幅に対して，また中心からの窓のずれ $P_{nm}\,\delta\omega$ を位相に対して比例させて設けることで，0と1の振幅透過率をもつバイナリホログラムとして実現するものである。このようにして作成されたフィルタはバイナリマッチトフィルタとなる。このフィルタの原図は XY プロッタを用いて矩形開口の集合として描かれこれを写真縮小して作成することになるため，入力に合わせて縮尺する必要がある点で困難があるが，精度が良くしかも作成が容易であり写真感光材料のガンマ特性に関係しないため取り扱いが便利である。こうしたことからここでの実験にはバイナリマッチトフィルタを使用した。

図7(a)は三角形に対するバイナリマッチトフィルタの例である。フィルタの計算は，任意サンプル数の場合に適用できる二次元 FFT[5] によっておこなった。同図(b)は(a)のインパルス応答（フーリェ変換）である。同図(c)が(a)のフィルタを使ってのマッチトフィルタリングの出力応答である。左右の像はそれぞれコンボリューションと自己相関像に対応するものであり，自己相関像は六角形に，コンボリューション像は三角形となっていることで，正しいマッチトフィルタリングが実行されていることが確認できる。

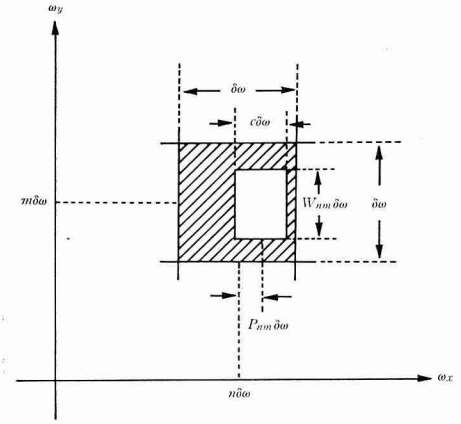
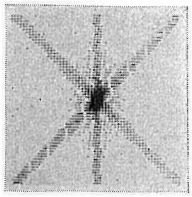
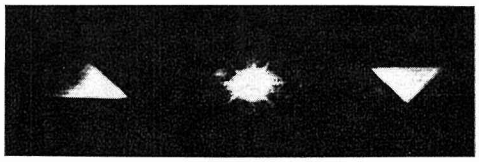


図6　計算機によるマッチトフィルタの作成（セルの構造）[4]



(a)



(b)

(c)

図7　(b)をインパルス応答にもつマッチトフィルタ(a)とマッチトフィルタリングの出力(c)

4. 漢字認識における分類処理

マッチトフィルタリングにより出力面に得られる自己相関像の輝点を検出することで文字認識が可能であるが，この場合フィルタリングの回数は認識速度に直接影響を与えると考えられる。したがって，英数字やかなのように認識対象となる文字数が少数である場合には，全ての対象となる文字に対してフィルタを作成しておき総当り的にマッチトフィルタリングをおこなうような方法でも実用的な認識方法となるであろうが，この方法をそのまま漢字認識に適用することは非実用的であり意味がないと考えられる。このような点から，漢字の認識を考える場合にはカテゴリを減少できるような分類処理をおこなうことが必要となる。

筆者らはマッチトフィルタリングによる分類処理の可能性から，漢字が共有している部首に着目した。すなわち漢字は比較的少数の偏，冠などを共有している場合が多いことから，同じ部首をもつもので漢和辞典式に分類しておくことができる。こうしたうえで，この部首を検出するためのマッチトフィルタリングをおこなうことで漢字を分類された少数のカテゴリに限定することができる。このような分類処理を経てから識別処理に移るような段階的処理をとることで，フィルタリングの回数を減少させることが期待され，実用的な漢字認識への道が開けるものと考えられる。

5. 実験と考察

前節までに述べたような立場で，種々の光学的実験をおこなった。まず，二次元回折格子による空間的な変調の結果得られる高次の回折像を利用したマッチトフィルタリング方式に対して図1に示したような光学系により，代表的な4種類の偏を入力に選んで計算機シミュレーションおよび通常の光学的フィルタリング方式との比較実験をおこなった。その結果を図8～図11に

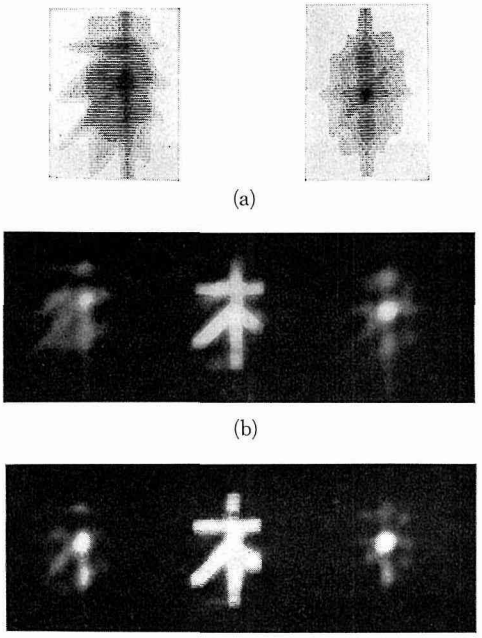


図8 「キヘン」に対する比較実験

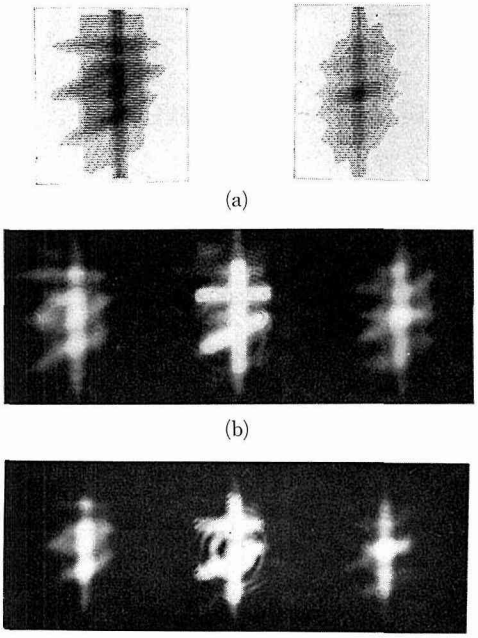
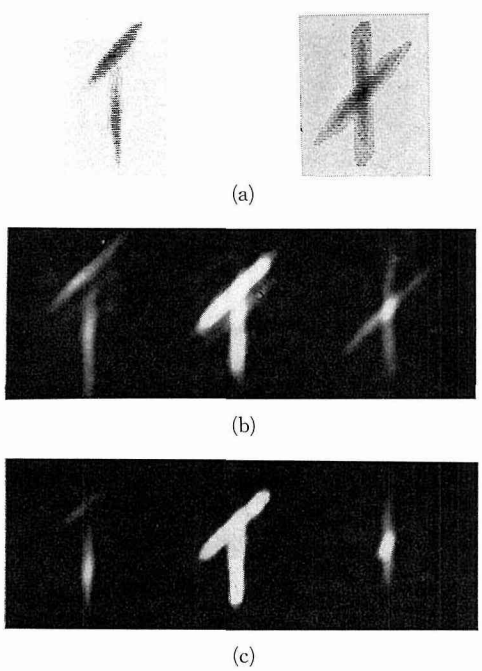
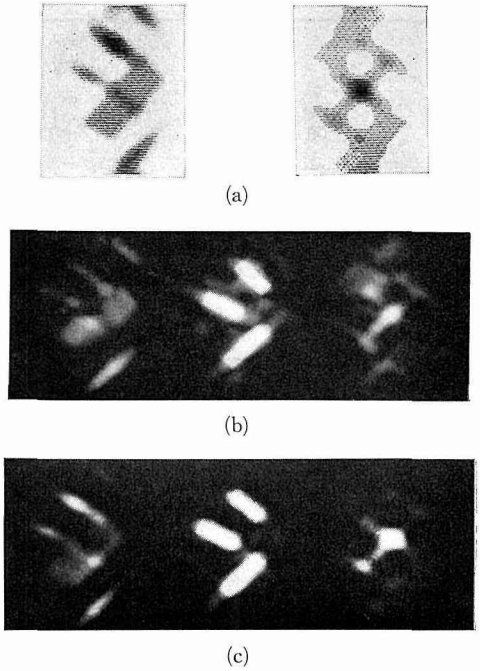


図9 「テヘン」に対する比較実験



(a)　(b)　(c)

図10　「ニンベン」に対する比較実験



(a)　(b)　(c)

図11　「サンズイ」に対する比較実験

示す。各図(a)は二次元FFTによる計算機シミュレーションの結果であり，(b)は通常のフィルタリング方式によるもので，(c)は高次の回折像を利用したフィルタリング方式による実験結果である。左側にコンボリューション像，右側に自己相関像が得られている。各図とも(a), (b), (c)が極めて良く一致することを示している。ただし，式(3)からもわかるように，高次の回折像を利用した方式では各回折像に入力のエネルギーが分離されることになるから，(c)に示された結果は(b)に示されたものより出力値が平均して低い値となっている。しかし，このことは本質的な影響をもたらすものではなく，高次の回折像を利用するフィルタリング方式によっても通常のマッチトフィルタリングが十分可能である。

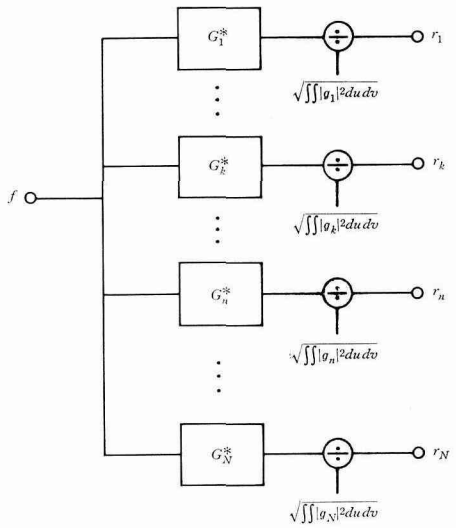


図12　マッチトフィルタリングによる文字認識系

こうしたマッチトフィルタリングによる認識方法では，自己相関関数の最大値によって識別をおこなうわけであるから相互相関関数の最大値が問題となる。そこで図12に示すブロック図にあるような認識系を考えることにする。いま入力fがg_kであるとすると自己相関を示す出力r_kは式(4)となる。

$$|r_k|^2=\frac{\left[\iint|g_k|^2\,du\,dv\right]^2}{\iint|g_k|^2\,du\,dv}=\iint|g_k|^2\,du\,dv \quad (4)$$

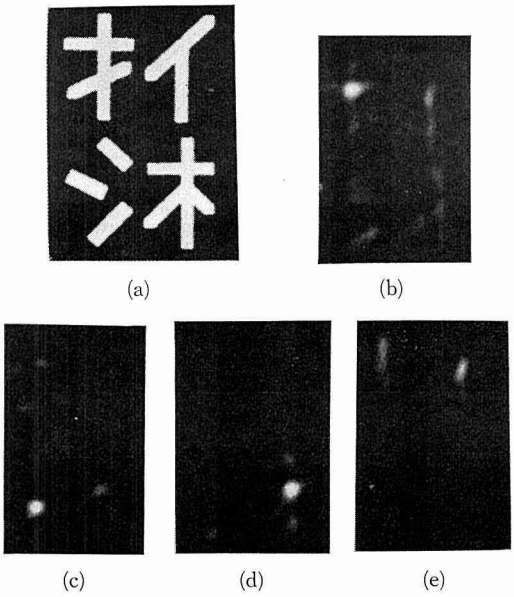
また相互相関を示す出力r_nは式(5)となる。

表1　相互相関の最大値

フィルタ＼入力	キヘン	テヘン	ニンベン	サンズイ
キヘン	3.01 (1.00)	2.45 (0.83)	1.57 (0.63)	1.04 (0.42)
テヘン	2.52 (0.83)	2.93 (1.00)	1.38 (0.56)	1.07 (0.44)
ニンベン	1.90 (0.63)	1.63 (0.56)	2.49 (1.00)	0.89 (0.37)
サンズイ	1.28 (0.42)	1.29 (0.44)	0.91 (0.37)	2.44 (1.00)

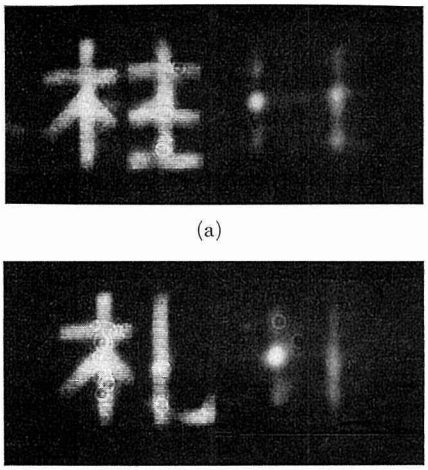
$$|r_n|^2=\frac{\left|\iint g_k g_n^* \, du\, dv\right|^2}{\iint |g_n|^2 \, du\, dv}\leq \iint |g_k|^2 \, du\, dv=|r_k|^2 \qquad (5)$$

式(5)から，こした規格化をおこなえば相互相関の最大値は常に自己相関の最大値以下になるということがわかる。したがって，マッチトフィルタリング操作の後にこの規格化処理をすることで正しく識別をおこなえる保証が得られる。そこで，この点について先に選んだ4種類の偏に対して計算機シミュレーションした。その結果を表1に示す。括弧内の数字は自己相関を1にしたときの割合である。図13は，この点についての光学的な実験結果である。同図(a)に示した入力に対して各偏ごとのマッチトフィルタリングをおこなえば，(b), (c), (d), (e)のような出力結果が得られる。各場合とも自己相関に相当する像が輝点となって生じ，相互相関とは明確に区別されている。ただし，光学的なこの結果に対しては先の規格化はおこなっていない。



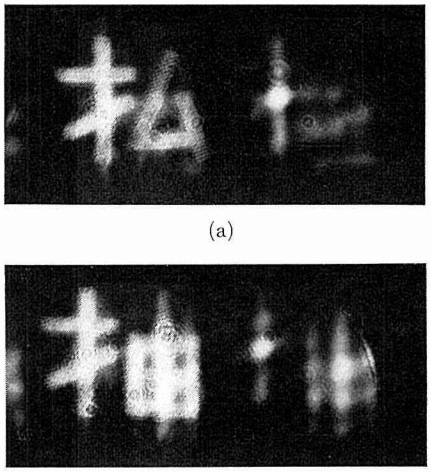
(a)　(b)　(c)　(d)　(e)

図13　入力 (a) とマッチトフィルタリングの出力　(b) テヘン，(c) サンズイ，(d) キヘン，(e) ニンベン



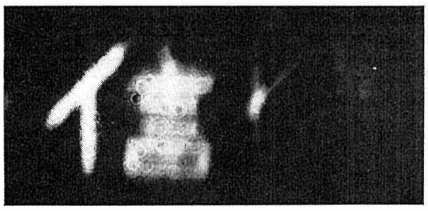
(a)　(b)

図14　キヘンの抽出



(a)　(b)

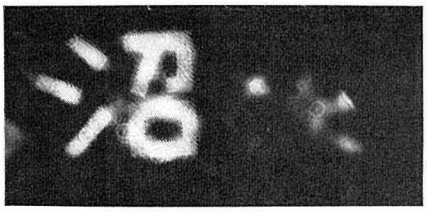
図15　テヘンの抽出



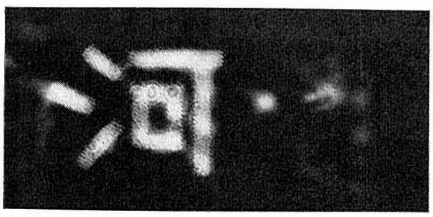
(a)

(b)

図 16　ニンベンの抽出



(a)



(b)

図 17　サンズイの抽出

このような結果から，しきい値を適当に設定することで十分に識別処理がおこなえるものと考えられる。

最後に 4 節に述べた分類処理についての実験をおこなった。入力には先に選んだ偏をもつ漢字を用いこれらの偏に対するマッチトフィルタを図 5 のように円形に配置し，回折格子の回転により全てのフィルタとのマッチングをとった。この結果得られた最大出力を示したものが図 14～図 17 である。各図に示される偏に対応する位置に生じている輝点は，全て自己相関の最大値に対応することが確認された。こうした結果から，漢字のもつ偏をマッチトフィルタリングにより抽出することが可能であり，この方法が漢字の分類処理に適用され得るものと考えられる。

6. あとがき

二次元回折格子により入力に対して空間的な振幅変調を加えることで周波数面に得られる分離された高次の回折像を利用して漢字の特徴抽出をおこなう方法について実験的に検討した。漢字が共有する部首を抽出できるこの方法は分類処理に適用できるものと考えられるが，能率の良い識別処理のためにどのような部首を抽出すべきかは検討する必要がある。また部首によって出力面での輝点の位置が異なることから，輝点の具体的な位置検出についてその輝度測定と共に，さらに多くの漢字例について実験する必要があるものと考えられる。

参考文献

1) 中野，中田：“周辺分布とそのスペクトルによる漢字の認識”，信学論 (D), 56-D, **3**, p. 146 (昭和 48-03).
2) 山本，中田：“階層的パターンマチッングによる漢字認識の基礎”，信学論 (D), 56-D, **6**, p. 365 (昭和 48-06).
3) A. V. Lugt: “Signal Detection by Complex Spatial Filtering”, IEEE Trans., IT-10, **2**, p. 139 (Apr. 1964).
4) A. W. Lohmann and D. P. Paris: “Binary Fraunhofer Holograms, Generated by Computer”, Appl. Opt., 6, **10**, p. 1739 (Oct. 1967).
5) 青木由直：工学部研究報告，**67**, p. 73, (昭和 48-06).