

S5 フォトリフラクティブ結晶を用いる光相関処理

江尻 剛士 佐々木 修己 鈴木 孝昌 王 向朝

新潟大学 工学部

1. はじめに

画像の相関処理をコンピュータによる数値処理で行う場合は演算量が膨大となり、リアルタイムに処理することが難しくなる。光によって相関処理を行う方法はいくつかあるが、リアルタイムに相関処理を行うためにフォトリフラクティブ結晶内にホログラムを形成することによる結合フーリエ変換相関処理を試みる。

2. 原理

フォトリフラクティブ結晶を用いてリアルタイムに画像の相関を行うための構成を図1に示す。認識する参照画像を $r(x, y)$ 、未知の入力画像を $s(x, y)$ とする。これらの2つの画像は同一平面上で距離 $2a$ だけ離れており、平面波 A_1 と A_2 をそれぞれ $r(x+a, y)$ と $s(x-a, y)$ に照射する。2つの画像を透過した光場 $u(x, y)$ を、

$$u(x, y) = r(x+a, y) + s(x-a, y) \cdots (1)$$

とする。光場 $u(x, y)$ をレンズによってフーリエ変換すると周波数面における光場は、

$$U(u, v) = R(u, v) \exp(j2\pi ua) + S(u, v) \exp(-j2\pi ua) \cdots (2)$$

となり、この光場 $U(u, v)$ を結晶内に形成する。ただし、 u, v は周波数空間座標で $R(u, v)$ 、 $S(u, v)$ はそれぞれ $r(x, y)$ と $s(x, y)$ のフーリエ変換である。 $U(u, v)$ の強度分布は、

$$\begin{aligned} |U(u, v)|^2 &= |R(u, v) + S(u, v)|^2 \\ &= |R(u, v)|^2 + |S(u, v)|^2 \\ &\quad + R(u, v)S^*(u, v) \exp(j4\pi ua) + R^*(u, v)S(u, v) \exp(-j4\pi ua) \cdots (3) \end{aligned}$$

となる。この強度分布がフォトリフラクティブ結晶内で位相回折格子として記録される。平面波 $A_3 = \exp(j2\pi ua)$ を $S(u, v)$ の伝播方向と反対の方向から結晶内に入射する。光場 A_3 は回折格子の式(3)の第4項によって表される成分によって回折される。この回折光は $R^*(u, v)S(u, v) \exp(-j4\pi ua)A_3$ となり、 $R(u, v)$ の伝播方向と逆方向に伝搬し、レンズで逆フーリエ変換されると、レンズから焦点距離 f の位置において、

$$c(x, y) = \mathcal{F}^{-1}\{R^*(u, v)S(u, v)\} = s(x, y) \star r(x, y) \cdots (4)$$

となる。但し、 \star は相関を表し、 $A_3 = 1$ とした。この結果、観測面で相関画像 $|c(x, y)|^2$ を得る。

$R(u, v), S(u, v)$ の位相をそれぞれ ϕ_R, ϕ_S とすると、式(3)の第4項は、

$$|S(u, v)||R(u, v)| \exp\{j(\phi_S - \phi_R - 4\pi ua)\} \cdots (5)$$

と変形でき、 $r(x, y)$ と $s(x, y)$ が一致するとき、

$$|R(u, v)|^2 \exp(-j4\pi ua) \cdots (6)$$

となり、画像から生じる位相成分が消えるため、相関画像 $|c(x, y)|^2$ にピーク値が生じる。したがって、入力画像 $r(x, y)$ の中に存在する参照画像 $s(x, y)$ を検出することができる。フォトリフラクティブ結晶内に

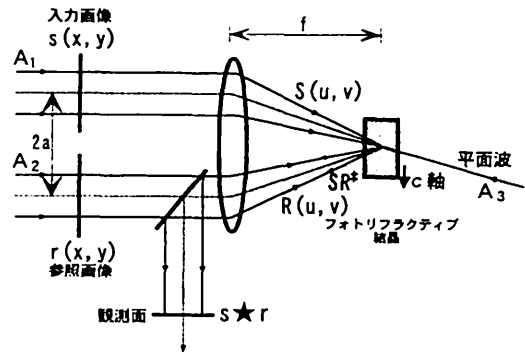


図1 フォトリフラクティブ結晶を用いる相関

ホログラムを形成させる方法は、写真乾板によるホログラムを用いる方法に比較してリアルタイムの相関処理となる。

3. 実験

図2に実験装置を示す。使用したレーザーは波長514.5nmのAr⁺レーザー。フォトリフラクティブ結晶はKNSBN:Cu結晶(5.5mm×5.7mm×7mm)を使用した。レーザー光をBS1により書き込み光と読み出し光に分ける。書き込み光は対物レンズL1とレンズL2によって拡大された平行光にする。その中心部分をマスクにより取り出し直径10mmの平行光を得る。この平行光をBS2で2分し、距離 $a=7.5$ mmだけ離れた参照画像rと入力画像sを照射する。得られた光場 $u(x,y)$ をレンズL3($f=150$ mm)によってフーリエ変換する。このとき、A₁とA₂の間の角度は約5.7度で、結晶に入射する光の偏光方向は結晶のc軸に対して平行である。また、結晶のc軸方向は図2に示されるようにレンズL3の光軸方向に対して垂直である。A₃はレーザーからの光をそのまま用いる。読み出された回折光は、L3で逆フーリエ変換してBS3で反射させた後、CCDカメラで観察する。観測した画像はイメージデジタイザによってコンピュータに取り込む。今回の実験では、参照画像は図3に示す直径5mmの円であり、入力画像は図4のように参照画像と同一の円と線の入った三角形から成る画像を用いた。図5にCCDによって観測された相関画像 $|c|^2$ を示す。入力画像に対して参照画像が存在する位置に相関ピーク値が生じていることがわかる。今回の実験では入力画像と参照画像をマスクで作成したが、LCD(液晶表示デバイス)を用いて表示することによってより高度な画像を処理することができる。

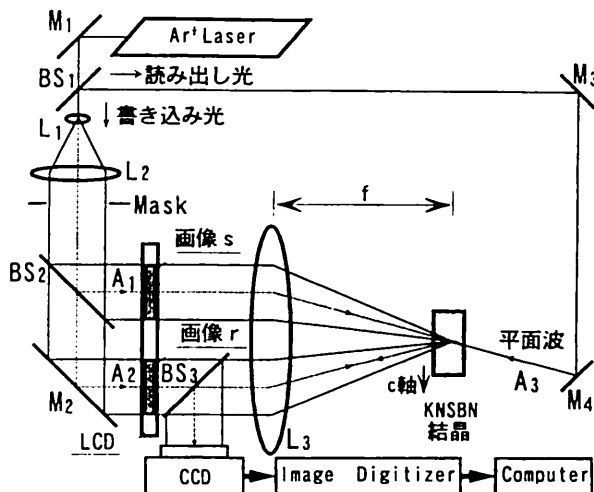


図2 実験装置

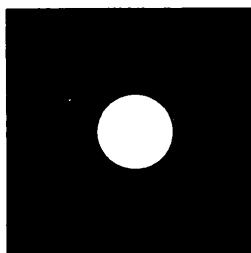


図3 参照画像



図4 入力画像

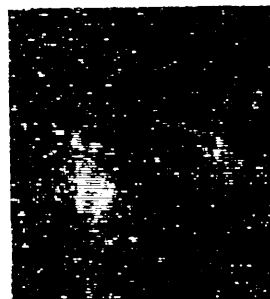


図5 実験結果

4. まとめ

フォトリフラクティブ結晶を用いた相関処理を行えることが実験により分かった。今後は、画像の表示にLCDを使用する予定である。