

# 光栅调制在信息处理中的一些应用

张 橙 华

(苏州大学激光研究室)

## 提 要

光栅调制用于全息翻译,可以扩大翻译容量,改善输出结果;用于特征识别中,对预调制的情况,能提高相似字母的鉴别率,并有可能实现多重识别;用于全息存储,可以分散频谱平面上的信号光强以保证再现质量,还可进行多重存储。

在光学中,不仅可以在时域利用调制以实现光通信、激光锁模等,还可以在空域进行调制以实现等密度分层<sup>[1]</sup>、假彩色编码<sup>[2]</sup>以及白光信息处理<sup>[3]</sup>。光学空间调制中常用的有振幅调制(用 Ronchi 光栅),脉宽调制(半色调技术<sup>[4]</sup>)等方式。

## 一、光栅调制用于全息翻译

关于全息翻译的由来、原理和实验等可参看文献[5],由于全息片的动态范围较小,无法对输入文字的频谱作线性记录,因而输出的翻译结果字迹模糊,噪声大。

### 1. 用调制改进翻译结果

Bekker<sup>[6]</sup>用非线性记录来改进全息翻译的输出,我们则利用光栅调制<sup>[7]</sup>,调制后各级频谱强弱不同,其曝光量在  $t-E$  曲线上占不同的区域,文字频谱的各分量都可能在某一级上得到线性记录,形成许多“子全息图”,在进行翻译时,子全息图的总的贡献使输出字迹较为清晰(见文献[5]图(5))。该文中别的调制方式也能改变频谱平面上光强分布,便于线性记录,但这些方式不太实用。

### 2. 用一张全息片翻译四组电码

一般说来记录的全息图只能对一对单词进行互译<sup>[5]</sup>,而全息片的信息容量远没有充分利用。如果简单地在一张全息片上多次曝光以增大翻译容量,则全息图上的条纹对比度迅速下降,有些区域会饱和,因而必须用别的办法。我们采用了  $\theta$  调制<sup>[8]</sup>,对输入的四组电码——汉字用不同取向的 Ronchi 光栅加以调制。记录、翻译的光路及公式推算均可参看文献[5],这里仅说明一下频谱的分布情况。设第  $i$  组电码为  $c_i(x_1, y_1)$ ,相应的汉字是  $e_i(x_1, y_1)$ ;光栅的槽距  $d_1$ ,槽宽  $d_2$ ,取向角  $90^\circ + \theta_i$ ,则输入平面后的光场是

$$c_i'' + e_i'' = \text{rect}\left(\frac{X_1}{d_2}\right) \otimes \left[ \text{comb}\left(\frac{X_1}{d_1}\right) \cdot (c_i + e_i) \right], \quad (1)$$

收稿日期: 1981年7月29日

注: 文字或字母、单词的上标 " , # 表示它们受相应方向的光栅的控制; 粗体字如 **O**, 中国则代表文字, 字母本身; 下同。

式中  $c_i'', e_i''$  代表调制后的字样。全息片上的光场是

$$C_i'' + E_i'' = \sin c \left( \frac{\xi_i}{D_2} \right) \cdot \left[ \text{comb} \left( \frac{\xi_i}{D_1} \right) \otimes (C_i + E_i) \right], \quad (2)$$

式中  $C_i'', E_i'', C_i, E_i$  是  $c_i'', e_i'', c_i, e_i$  的傅里叶变换,  $D_1 = \lambda f / d_1, D_2 = \lambda f / d_2$ ; 光强分布如图 1(b) 所示, 改变光栅的取向就可 在一张全息片上记录四对电码——汉字, 这张片子就能把这 四组电码译成汉字(见图 2)。

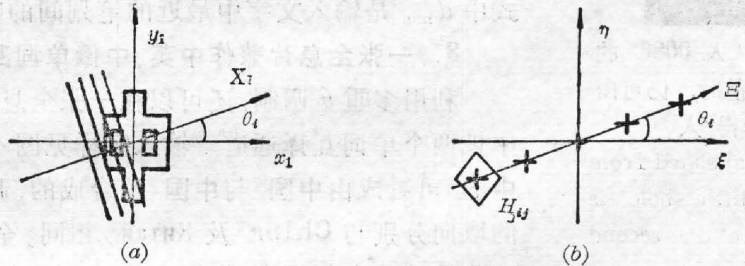
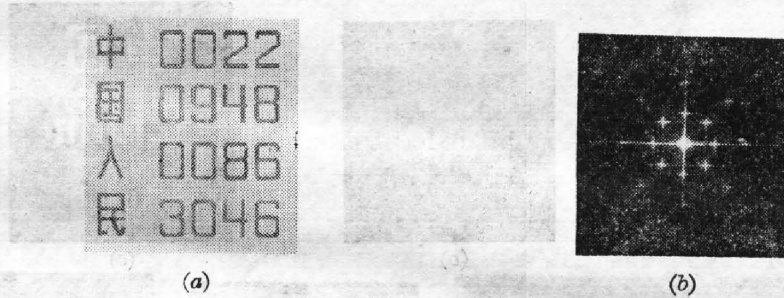


图 1

(a) 调制光栅的取向; (b) 全息片上的光强分布

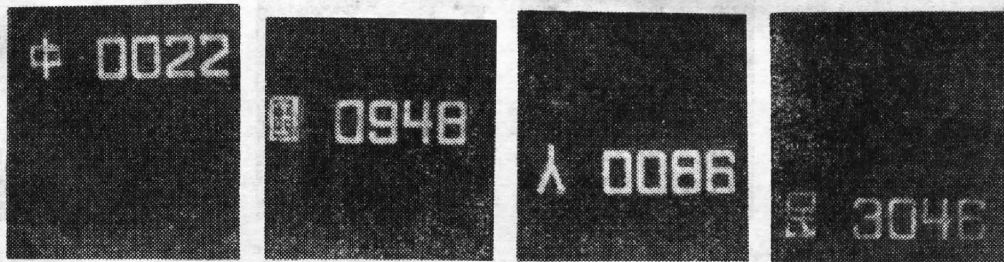
Fig. 1

(a) Orientation of the modulating grating; (b) Intensity distribution on the holographic plate



(a)

(b)



(c)

图 2 用一张全息片翻译四组电码的实验结果

- (a) 对输入的电码——汉字组进行  $\theta$  调制;
- (b) 在频谱平面上, 各组电码——汉字的傅里叶全息图分布在各个方向上;
- (c) 输入电码后译得相应的汉字

Fig. 2 Experimental results of four groups of codes translated by a hologram

- (a) Input (pairs of code and Chinese character) is  $\theta$ -modulated beforehand;
- (b) The Fourier hologram of each pair is in its own orientation;
- (c) Four Chinese characters are translated from codes by means of a holographic plate

图 1(b) 所示的各级频谱可形成子全息图  $H_{ij}$ , 每个  $H_{ij}$  含有  $C_i$  与  $E_i$  的全部信息, 如在全息片前设置带小孔的黑屏, 只让某一子全息图起作用, 都能在输出平面上看到翻译结果。

当然此时输出较弱,字迹也差一些(见图3)。由此可以设想:改变调制光栅的频率与取向,用三个子全息图记录一组电码——汉字(为了仍能改善输出效果),就能在  $5\text{cm} \times 5\text{cm}$  的全息片上记录 100 对电码汉字。这样就能充分利用全息片大大地扩大全息翻译器的容量。黑屏上小孔的线度至少应大于

$$l_{\min} = \lambda f / d_{\min}, \quad (3)$$

式中  $d_{\min}$  是输入文字中最近的笔划间的距离。

### 3. 一张全息片兼作中英、中俄单词互译器

图3 小孔处于“人-0086”的第二级子全息图前时,仍可由“0086”译得“人”

Fig. 3 “人” is translated from “0086” when a little hole is placed just before the second order element-hologram of “人-0086”



(f)中可看到翻译出来的中国仍受光栅的调制,由 **China** 译出的是中国,由 **Китай** 译出的是中国 ( $E, H$  轴与  $x, y$  坐标的关系见文献[5]图(5))。

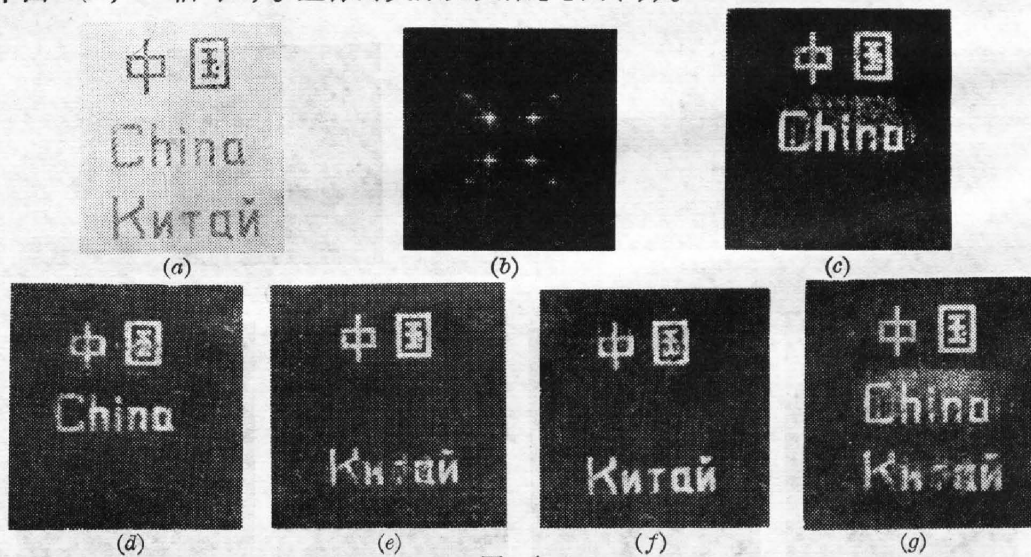


图 4  
(a) 输入的字样; (b) 全息图(已用狭缝挡光); (c) 中译英; (d) 英译中; (e) 中译俄; (f) 俄译中; (g) 翻译时在全息图前不加狭缝,从中国<sup>#</sup>可同时得到 **China** 与 **Китай**

Fig. 4

(a) Input; (b) Hologram (behind a crossed slits mask); (c) From Chinese to English; (d) From English to Chinese; (e) From Chinese to Russian; (f) From Russian to Chinese; (g) Without the slit before the hologram, **China** and **Китай** are obtained from 中国<sup>#</sup> at the same time

## 二、光栅调制用于特征识别

用全息法制作特定目标(如字母 O)的匹配滤波器并用于光学特征识别,已有十多年的

历史; 人们除了研究实时器件及如何解决图形伸缩等问题外, 还希望能识别非常相似的物体, 能扩大匹配滤波器的容量。如果图象可以预先加以调制, 就可用  $\theta$  调制来处理这两个问题。

### 1. 用 $\theta$ 调制增大 $\mathbf{O}$ 与 $\mathbf{Q}$ 的鉴别率

字母  $\mathbf{O}$  与  $\mathbf{Q}$  的差别很小 (类似的情况在汉字或图象中也能找到)。用  $o(x_1, y_1)$  代表  $\mathbf{O}$  的振幅透射率函数, 用  $q(x_1, y_1)$  代表  $\mathbf{Q}$ , 用  $h(x_1, y_1)$  代表  $\mathbf{Q}$  的那一撇, 则可以把  $\mathbf{Q}$  看成是  $\mathbf{O}$  加上一撇, 即

$$q(x_1, y_1) = o(x_1, y_1) + h(x_1, y_1), \quad (4)$$

用  $O, Q, \tilde{h}$  分别代表  $o, q, h$  的频谱, 则

$$Q(\xi, \eta) = O(\xi, \eta) + \tilde{h}(\xi, \eta), \quad (5)$$

$O(\xi, \eta)$  照在  $\mathbf{O}$  的匹配滤波器上时得到的衍射光是

$$[O + \tilde{h}]O^*R = |O|^2R + \tilde{h}O^*R \approx |O|^2R, \quad (6)$$

这是因为  $h$  是定义域很小的有界函数,  $\tilde{h}$  很弱, 所以从  $\mathbf{Q}$  得到了相当强的假响应。实验结果见图 5 (光路及推算过程见文献 [9])。



图 5  $\mathbf{O}$  的匹配滤波器对  $\mathbf{Q}$  也有响应  
Fig. 5 MSF of  $\mathbf{O}$  is also response to  $\mathbf{Q}$



图 6  $\mathbf{O}^1$  的匹配滤波器只对  $\mathbf{O}^1$  有响应, 响应点也受到调制  
Fig. 6 MSF of  $\mathbf{O}^1$  is response to  $\mathbf{O}^1$  only, the responding point is modulated too

我们用竖直的光栅调制  $\mathbf{O}$ , 用水平的光栅调制  $\mathbf{Q}$ ; 记录  $\mathbf{O}^1$  的匹配滤波器, 就只对  $\mathbf{O}^1$  有响应, 对  $\mathbf{Q}^1$  就没有响应, 这是因为  $\mathbf{O}^1$  与  $\mathbf{Q}^1$  的频谱分别分布在  $\xi$  轴与  $\eta$  轴附近 (可由 (2) 式来说明), 二者差异很大。调制后的  $\mathbf{O}^1$  的频谱分布在  $\xi$  轴附近,  $|O^1(\xi, \eta)|^2$  可看成是  $|O|^2$  与梳状函数的卷积,

$$|O^1(\xi, \eta)|^2 \approx |O(\xi, \eta)|^2 \otimes \text{comb} \frac{\xi}{D_1}, \quad (7)$$

所以在识别  $\mathbf{O}^1$  时得到的响应是

$$\mathcal{F}\{|O^1(\xi, \eta)|^2\} \approx \mathcal{F}\{|O(\xi, \eta)|^2\} \cdot \text{comb} \frac{x^2}{d_1}, \quad (8)$$

(7)、(8) 二式是相当粗糙的近似, 但从 (8) 式可判断由  $\mathbf{O}^1$  得到的响应点相当于  $\mathbf{O}$  的响应点受间距为  $d_1$  的光栅的调制。实验结果见图 6 (从相关的演算也能推断  $\mathbf{O}^1$  的响应点受调制的情况)。

### 2. 对多重识别的设想

多重识别的一种办法是频率多路法<sup>[10]</sup>, 即改变参考光与物光的夹角。该方法的缺点是响应点的位置与待识别字母的位置对应关系比较复杂, 且多次曝光会严重降低滤波器的衍射效率。如图象可以预先调制, 则可用  $\theta$  调制来实现多重识别 (设想见图 7)。在同一张全

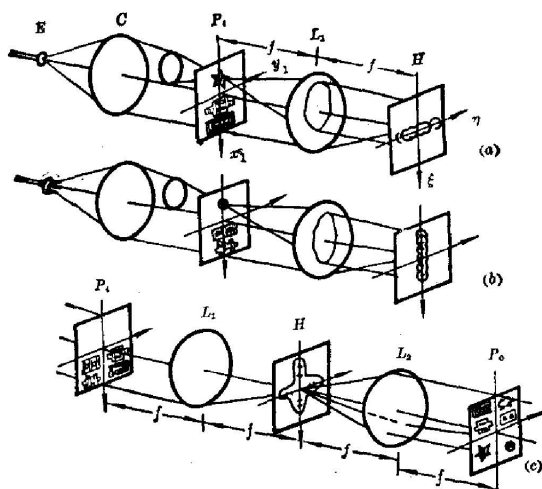


图7 用改装的瑞利干涉仪记录匹配滤波器  
[(a), (b)] 并用于多重识别[(c)]的设想

Fig. 7 A suggestion: a MSF is recorded with a reformed Rayleigh interferometer  
[(a), (b)] and applied to multi-recognition [(c)]

息片上先记录中国“与☆的全息图,再记录日本”与⊙的全息图。在进行识别时,如输入平面上出现中国“或日本”,就会在输出平面上相应的位置上出现☆或⊙。如在记录匹配滤波器时用几个小孔组成某种编码语代替☆与⊙。识别时用光电阵列接收,这样就可把光学多重特征识别纳入光-电子混合处理系统。此时实际上已过渡到全息翻译了(其实特征识别本来就可看成是全息翻译的一个特例,即把特定图象译成一个亮点)。

由于本节中提出的方法需预先调制,因此适用范围是很有限的。

### 三、光栅调制用于全息存储

全息存储中所遇到的问题之一是待存储图象的频谱分布过于集中,在干板的曝光区域内不能处处都保持物光和参考光的最佳比值。使物光均匀分布的方法有离焦<sup>[11,12]</sup>、光栅调制<sup>[11]</sup>和随机相移<sup>[13]</sup>。

#### 1. 在图象前迭加位相光栅进行全息存储实验

Gerritsen 把光栅放在变换透镜之前,使复现图象的分辨率受到影响(位相光栅后面有相当于透镜的聚焦作用引起的亮暗斑纹)。我们则把光栅与待存储图象  $a(x_1, y_1)$  迭加在一起。设调制器的振幅透射率是  $m(x_1, y_1) = m_0(x_1, y_1) \exp[i\phi(x_1, y_1)]$ , 输入平面后的光场是  $a \cdot m$ , 到达频谱平面的光场是

$$\mathcal{F}(a, m) = A(\xi, \eta) \otimes M(\xi, \eta)。 \quad (9)$$

接收到的再现图象的强度分布是

$$I(x_2, y_2) = |a(-x_2, -y_2)|^2 \cdot |m_0(-x_2, -y_2)|^2。 \quad (10)$$

由(9)式可知:在  $A$  确定后,频谱平面上物光光强的分散情况取决于  $M$ ; 如参考光在

曝光范围内是均匀的, 最好在同一范围内  $M$  也是均匀的, 才可使物光均匀分布而又不降低存储密度。

下面简单分析几种调制器: (1) 正弦型振幅光栅的频谱是一个高峰(零级), 两个低峰( $\pm 1$ 级)对  $A$  起不到分散作用。(2) Ronchi 光栅也不合适, 光栅频率太低会影响分辨率(见(10)式), 频率太高则会降低存储密度; 槽宽较大时, 对  $A$  分散得不够, 槽宽较小时又降低了调制器总的通光量。(3) 随机相移器的效果是好的, 但制作不易。对于均匀的参考光来说, 它的频谱还不够理想, 其平均是  $\sin C$  型函数<sup>[14]</sup>(由取样宽度决定)。(4) 正弦型正交位相光栅的透射率是

$$m = \exp \left[ i \Delta \phi \left( \sin 2\pi \frac{x_1}{d_1} + \sin 2\pi \frac{y_1}{d_1} \right) \right] \text{rect} \left( \frac{x_1}{l}, \frac{y_1}{l} \right), \quad (11)$$

式中  $l$  是光栅的边长,  $d_1$  是槽距,  $m$  的频谱是

$$M = \sum_n \sum_p J_n(\Delta \phi) J_p(\Delta \phi) \delta(\xi - nD_1) \delta(\eta - pD_1) \otimes \sin C(\xi/L, \eta/L). \quad (12)$$

适当控制  $\Delta \phi$  可使零级降低, 同时选用频率较低的光栅(低于待存储文字的最高空间频率), 并不影响存储分辨率(见(10)式), 就能使  $A$  与  $M$  的卷积结果更均匀的分布而又使全息图面积增加不多。实验结果见图 9, 图 9(a) 中用的光栅频率是  $1 \text{ mm}^{-1}$ , 从照片可以看出分辨

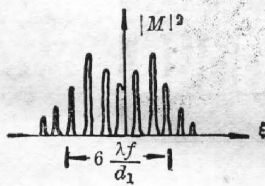
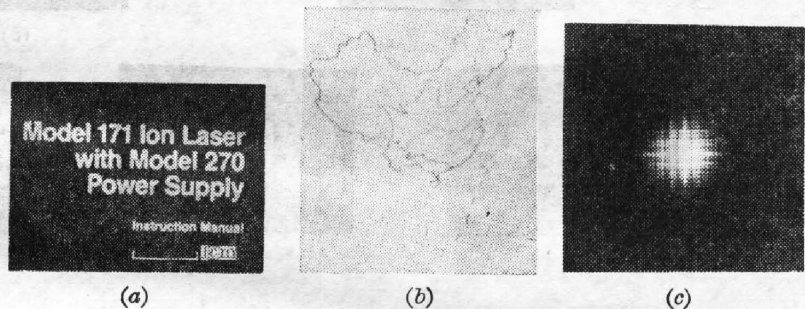


图 8  $\Delta \phi = 3 \text{ rad}$  的一维位相光栅的频谱

Fig. 8 Frequency spectrum of a one-dimension phase grating ( $\Delta \phi = 3 \text{ rad}$ )



(a) (b) 复现的结果; (c) 所用光栅的频谱

Fig. 9

(a), (b) Retrieved images; (c) Frequency spectrum of the grating used in the experiment

率受的影响很小, 图 9(b) 中用的光栅频率是  $6 \text{ mm}^{-1}$ 。白底黑线类图象的频谱有很强的中心亮点, 用普通的散焦法是不易存储的。位相光栅用于存储连续灰度的图象和白底黑字、黑底白字的混合资料, 效果也是不错的。

除了正交光栅外, 还可以用三交的、多重的或复合的位相光栅作位相型调制器, 这些光栅都用全息法制作, 因而容易获得。此外, 还可把散斑照相当作随机型调制器用于全息存储。

## 2. 直接存储半色调照片

近年来, 半色调技术被广泛地用于光学信息处理<sup>[1, 2, 4]</sup>。一维半色调透明片可近似表达为

$$t_n = \sum_n \text{rect} \frac{x}{b_n} \otimes \delta(x - nd), \quad b_n \approx \frac{I(x)}{I_{\max}} \cdot d \Big|_{x=nd}, \quad (13)$$

脉宽  $b_n$  正比于原图象的强度  $I(x)$ , 是一种脉宽调制。  $t_n$  的频谱中有间隔为  $\lambda f/d$  的周期结构, 其分布比原图象的频谱要广得多。我们可直接记录半色调照片的傅里叶全息图, 而不必另外再加以调制, 复现结果如图 10 所示。半色调照片广泛地存在于报刊书籍之中, 研究它的全息存储是很有意义的。

### 3. 多重存储

Lohmann 曾用 Ronchi 光栅在空域进行调制并重复记录, 在频域用可转动的狭缝来分离各个图象<sup>[8]</sup>; 该方法的缺点是光栅槽宽  $d_2$  大时串音严重,  $d_2$  小时影响总的通光量。我们改在频域用全息术重复记录, 效果就较好, 如图 11 所示。(如改用位相光栅则还可增大总的通光量, 且不影响分辨率, 效果更好)。为了提高存储密度, 可改变光栅的频率及取向角  $\theta$ 。此时光栅的作用就相当于偏转器或全息片的位移机构了。



图 10 复现的半色调照片  
Fig. 10 Retrieved halftone picture

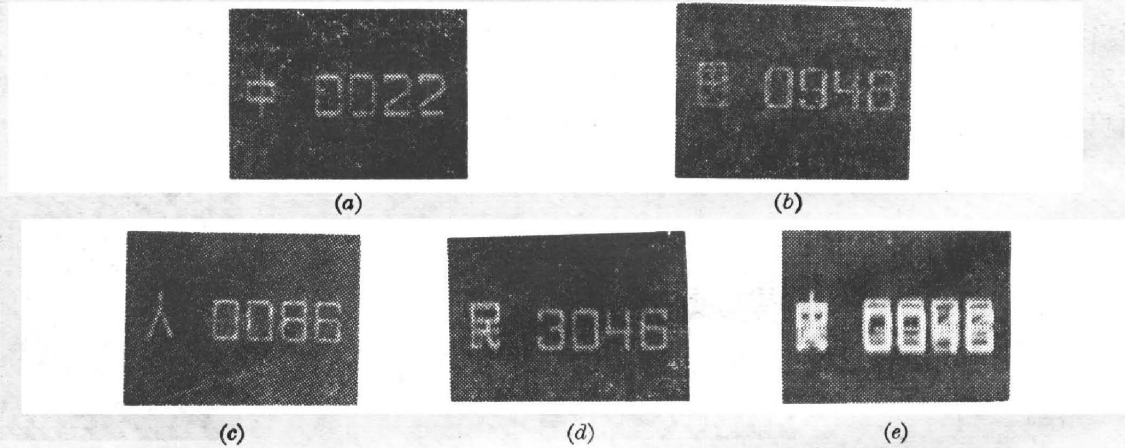


图 11

(a), (b), (c), (d) 是复现的各页“资料”(这里一对电码——汉字就作为一页“资料”);  
(e) 不用狭缝滤波, 各页资料就重迭在一起

Fig. 11

(a), (b), (c), (d) Retrieved pages (a pair of code and Chinese character as a page);  
(e) Without the slit filter, the pages are interlarded

把光学调制用于全息翻译、特征识别与全息存储, 总起来讲有二方面的效果: 主要是改变频谱以便于处理、便于记录, 其次是增大信息容量。尽管这二方面的效果都已相当显著, 但离实际应用还有相当的距离, 许多工作有待进一步深入进行。

本文的工作是在凌德洪教授的指导下进行的, 作者谨在此表示衷心感谢。

### 参 考 文 献

- [1] H. K. Liu *et al.*; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, No. 10(Oct), 2394.
- [2] H. K. Liu *et al.*; *Nouv. Rev. Opt.*, 1976, **7**, No. 5(Sep-Oct), 285.
- [3] 杨振寰, 庄松林, 母国光; 《光学学报》, 1981, **1**, No. 1(Jan), 13.
- [4] 刘华光(H. K. Liu); 《光学学报》, 1981, **1**, No. 2(Mar), 97.
- [5] 凌德洪, 张橙华, 王策; 《光学学报》, 1981, **1**, No. 5(Sep), 463.

- [6] A. M. Bekker *et al.*; *Opt. Commun.*, 1979, **31**, No. 3(Dec), 290.
- [7] J. W. Goodman *et al.*; *J. O. S. A.*, 1973, **63**, No. 1(Jan), 50.
- [8] J. D. Armitage *et al.*; *Appl. Opt.*, 1965, **4**, No. 4(Apr), 399.
- [9] 凌德洪, 张橙华, 王策; 《江苏师范学院学报》(自然科学版), 1980, No. 1(Jun) 91.
- [10] J. W. Goodman; 《傅里叶光学导论》, (科学出版社, 1976).
- [11] H. J. Gerritsen *et al.*; *A. P. L.*, 1968, **7**, No. 11(Nov), 2301.
- [12] K. Chalasinska-Macukow *et al.*; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, No. 9(1 May), 1436.
- [13] C. E. Burekhardt; *Appl. Opt.*, 1970, **9**, No. 3(Mar), 695.
- [14] N. H. Farhat (ed); 《*Advances in Holography*》 Vol. 3, (Marcel Dekken Inc., 1976), 17.

## Some application of spatial modulation to optical information processing

ZHANG CHENGHUA

(Laser Research Section, Suzhou University)

(Received 29 July 1981)

### Abstract

After applying spatial modulation to holographic translation, the SNR of the output is improved, and the translation capacity is increased greatly. The experiments presented in this paper demonstrate that a hologram can translate four telegraphic codes into Chinese characters, and two translating channels (Chinese / English and Chinese / Russian) can be recorded on one holographic plate. With the frequency and orientation of modulating grating being altered, it is possible for a hologram to translate more than a hundred words. In those cases the characters may be  $\theta$ -modulated beforehand, a character (such as 0) can be recognized distinctly without being confused with another very resemble one (Q), and it is possible to realize multi-recognition. A modulating grating can replace a random phase shifter for holographic information storage. A low frequency phase grating does not reduce the resolution of retrieval page obviously. A halftone picture may be regarded as a group of width-modulated spatial pulses, therefore it can be holographically stored directly without the concentration of intensity on the Fourier transform plane, by using  $\theta$ -modulation, multi-storage is organized on the spatial frequency plane, the experimental results show that the cross talk is very low.