

# 用傅里叶全息图进行单词互译的实验

凌德洪 张澄华 王策  
(江苏师范学院激光研究室, 苏州)

## 提 要

参考光具有信息内容的傅里叶全息图可用来做全息翻译器。本文用物光、参考光地位对等的观点进行分析,并给出了实验结果。用空间振幅调制的方法改进了效果。

## 一、引 言

全息图有可能当作翻译器<sup>[1]</sup>。最早是 Heerdan 于 1963 年从理论上预言,如果光学滤波器的振幅透射率与它在感光时的光强度变化成正比,就可以用光学滤波的办法从原物的一部分得到整个图象<sup>[2]</sup>。Stroke 于 1965 年<sup>[3]</sup>, Pennington 于 1966 年<sup>[4]</sup>在实验上证实了这一预言。Lohmann 用计算机制作光学滤波器,实现了从“G”到“+”的翻译<sup>[5]</sup>。我们做了一些实验,用傅里叶全息图进行单词的互译,还利用空间振幅调制来改进效果。

一般的傅里叶全息图是用一束平行光作参考光去与一个物体的傅里叶谱(作为物光)相干记录下来的。从全息图的方程式<sup>[6]</sup>来看,参考光与物光的地位是对等的,用原参考光(平行光)照明全息图可以重建物光波;而用物光照明全息图就能重建参考光,因原参考光是平行光,再经过透镜会聚就成一点,这就是光学特征识别中的情况;由此可见,物光与参考光确实是对等的。现在我们更进一步,在参考光中加入信息内容,让参考光及物光含有不同的信息,在再现时,用一种信息的光照明,就可以重现另一种信息的光波。应用这一原理就可以进行文字对译。

一些书籍中对特征识别、傅里叶全息图都是分开叙述的,对它们的内在联系阐述得较少。我们用物光束和参考光束对等的观点来分析,把它们有机地统一起来,物理意义就比较清楚:由此很自然地引向用光学全息方法进行单词的互译。

## 二、单词互译的原理及实验结果

记录全息图所用的光路如图 1 所示,经过准直的激光照在输入平面上的两个透明物“中国”和“China”上,分别用  $a(x_1, y_1)$ ,  $b(x_1, y_1)$  代表它们的振幅透射率函数。

经过透镜  $L_1$  的傅里叶变换,到达频谱平面的两个光波是

$$\left. \begin{aligned} A(\xi, \eta) &= F \{a(x_1, y_1)\}, \\ B(\xi, \eta) &= F \{b(x_1, y_1)\}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

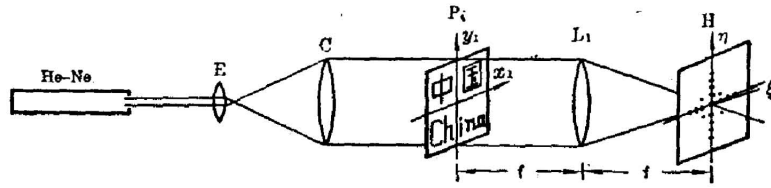


图1 记录全息图的光路

E—扩束透镜；C—准直透镜； $L_1$ —傅里叶变换透镜；  
 $P_i$ —输入平面；H—频谱平面上的全息片

由全息片 H 记录的光强度是

$$I_1(\xi, \eta) = |A(\xi, \eta) + B(\xi, \eta)|^2. \quad (2)$$

全息片 H 经过显影、定影后,其振幅透射率可用下式表示(参看文献[7]):

$$t(\xi, \eta) = t_0 - \beta I_1 = [t_0 - \beta(|A|^2 + |B|^2)] - \beta A^* B - \beta A B^*. \quad (3)$$

“翻译”所用的光路是如图 2 所示的  $4f$  系统,图中略去了照明、准直系统。设先进行中译英,输入平面  $P_i$  上是“中国”,即  $a(x_1, y_1)$ , 到达频谱平面 H 的光场是  $A(\xi, \eta)$ , H 后的光场是

$$A \cdot t = A[t_0 - \beta(|A|^2 + |B|^2)] - \beta A A^* B - \beta A A B^*. \quad (4)$$

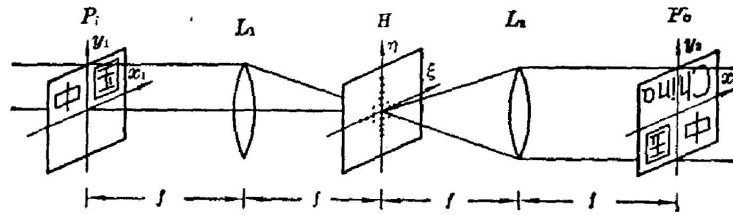


图2 “翻译”光路

$P_i$ —输入平面；H—频谱平面上已处理过的全息片；  
 $P_o$ —输出平面； $L_1$ 、 $L_2$ —傅里叶变换透镜

下面分别分析(4)式中的三项经过  $L_2$  的傅里叶变换到达输出平面  $P_o$  的情况:

第一项中的  $[t_0 - \beta(|A|^2 + |B|^2)]$  是实数,且可近似地看成是一个常数,令其为  $k_1$ , 则第一项变换为

$$F[k_1 A(\xi, \eta)] = k_1 a(-x_2, -y_2), \quad (5)$$

这是透过去的“中国”。

第二项中的实数  $\beta A A^*$  也可近似地看成是一个常数,令其为  $k_2$ , 则第二项变换为

$$F[-k_2 B(\xi, \eta)] = -k_2 b(-x_2, -y_2), \quad (6)$$

这就是“翻译”出来的“China”。在输出平面记录的是光强,振幅前的负号是没有关系的。

第三项是共轭项,是我们不需要的。

如果输入平面上的“中国”平移一个距离,则输出平面上的“中国”与译出来的“China”一起相应改变一下位置,详细推导请参看文献[8]中第(6)式至第(10)式的计算。如果要进行英译中,输入平面上只有 China, 类似的分析告诉我们在输出平面上得到“China”与“中国”。在我们的实验中,傅里叶变换透镜的焦距都是 50 厘米,输入平面上汉字的大小约为 2 毫米宽、3 毫米高;用的干板是本室自制的银盐全息干板,显影液、定影液是通用的  $D_{19}$

及  $F_0$ 。为了避免全息片在处理复位时的误差,我们采用了原位显影<sup>[9]</sup>的办法。实验结果见图 3。

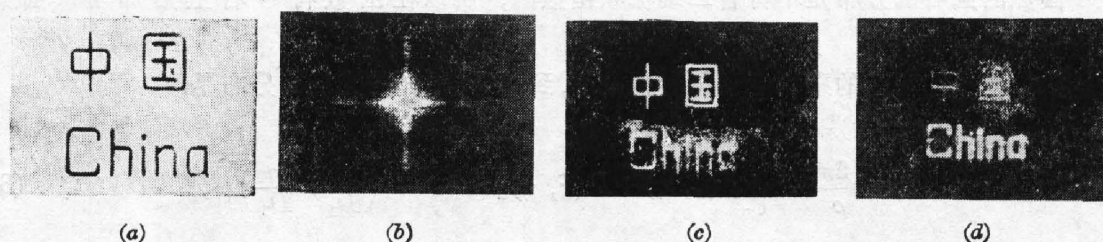


图 3

(a) 记录全息图时输入平面上的两个单词(负片)。(b) 全息图(负片)。(c) 中译英的结果。(d) 英译中的结果。在记录中译英的结果时,先用黑纸把“中国”挡住一段时间,然后拿去黑纸与“China”一起曝光

### 三、对信息加以调制以改进效果

从图 3(b) 可以看出,在频谱平面上光强比较集中,全息片没有得到充分利用,也不利于信息的记录和再现;从图 3(c), (d) 可以看出字迹模糊,信噪比差,衍射效率很低。原因在于底片的动态范围小。如曝光时间较短,全息片上光强集中的地方(低频区)已处于线性区,但外部光弱的地方还没有达到线性区;如果延长曝光时间,让外部高频部分进入线性区,但低频部分已饱和了,即使不饱和,吸收也非常大。由于底片的动态范围不易改变,要增大记录的动态范围可以采用光学调制的办法。目的是使频谱发生变化,能量分布均匀,便于记录。我们试了几种办法来对信息加以调制:

#### 1. 用小圆点构成文字

如图 4(a)所示,小圆点的直径是 0.2 毫米。新的字样用  $a_1, b_1$  代表,其频谱用  $A_1, B_1$  代表;那么用  $a_1, b_1, A_1, B_1$  代替(1)至(6)式中的  $a, b, A, B$  可得到类似的记录与翻译的结果,为简明计,我们略去这个推算过程,只对全息图上的光强分布情况作一说明。

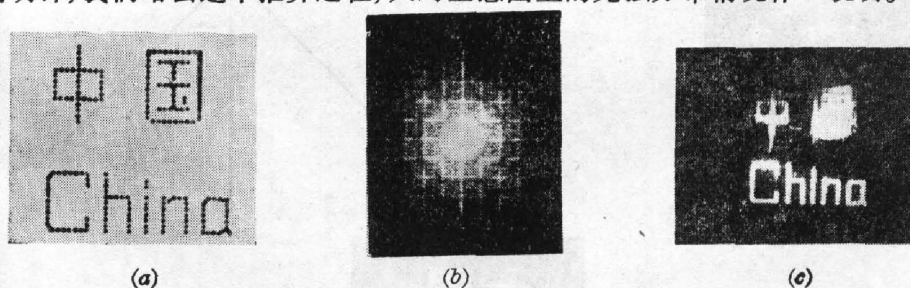


图 4

(a) 字符由小圆点构成,“国”字右边一竖是由直条中的小圆孔构成的。  
(b) 全息图。(c) 英译中的结果

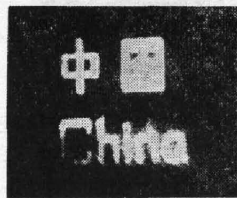
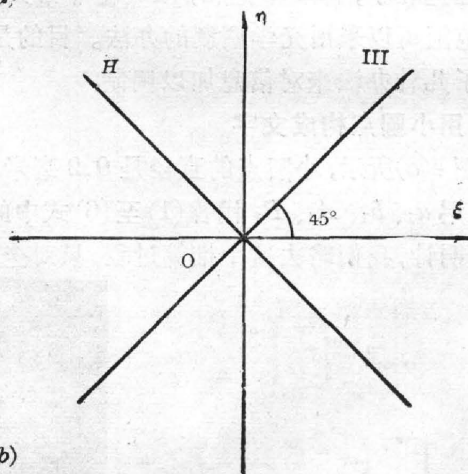
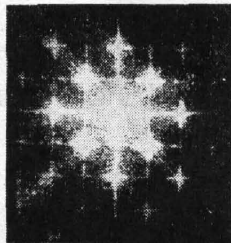
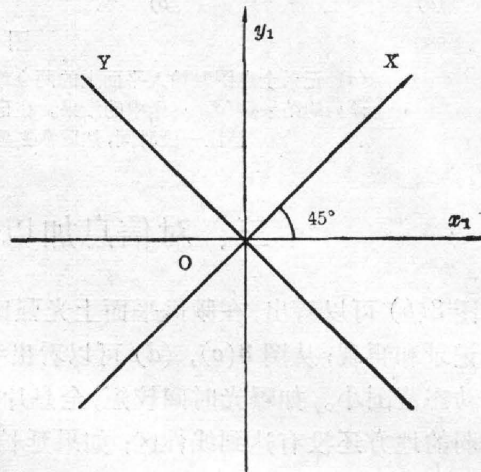
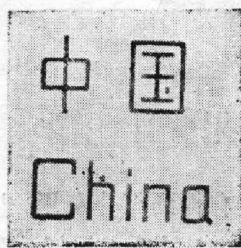
记录全息图时输入平面后的光场是

$$a_1(x_1, y_1) + b_1(x_1, y_1) = \text{circ}\left(\frac{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}}{r}\right) \otimes \left\{ \text{comb}_1\left(\frac{x_1}{2r}, \frac{y_1}{2r}\right) \cdot [a(x_1, y_1) + b(x_1, y_1)] \right\}, \quad (7)$$

式中  $\text{circ}\left(\frac{\sqrt{x_1^2+y_1^2}}{r}\right)$  代表圆点;  $\text{comb}'_1\left(\frac{x_1}{2r}, \frac{y_1}{2r}\right)$  是二维梳状函数(为了照顾字的笔划,一些小圆点的圆心的分布是不符合二维梳状函数的,所以在函数符号右上角加了一撇);  $r=0.1$  毫米。

根据傅里叶变换的乘积定理与卷积定理,到达  $H$  平面的光场的分布是:

$$A_1(\xi, \eta) + B_1(\xi, \eta) = \frac{J(2\pi\rho)}{\rho} \cdot \left\{ [A(\xi, \eta) + B(\xi, \eta)] \otimes \text{comb}'_1\left(\frac{\xi}{D_1}, \frac{\eta}{D_1}\right) \right\}, \quad (8)$$



(c)

图 5

(a) 输入平面上的字样及两个坐标系的关系。(b) 全息图及频谱平面上的两个坐标系。(c) 中译英的结果

式中  $D_1 = \frac{\lambda f}{2r}$ ,  $\rho = \frac{r}{\lambda f} \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$   $\lambda$  是激光波长, 等于  $0.633 \mu$ 。

全息图上光强的分布见图 4(b), 可以看出实验结果与上述等式(8)是一致的; 在图中可看到与  $J(2\pi\rho)$  的零点对应的几条暗的圆环, 以及  $\text{comb}''\left(\frac{\xi}{D_1}, \frac{\eta}{D_1}\right)$  与  $[A(\xi, \eta) + B(\xi, \eta)]$  卷积得到的阵列结构。因为光强分散开了, 记录全息图时的曝光时间可加长; 从实验结果可以看出, 衍射效率有所增进, 笔划仍不够清晰(见图 5(a))。

## 2. 用正交振幅光栅加以调制

用槽距为  $d_2 = 0.08$  毫米的正交振幅光栅与文字迭加在一起, 固定好; 光栅刻槽的方向 ( $X$  轴,  $Y$  轴) 与字的笔划方向 ( $x_1$  轴,  $y_1$  轴) 成  $45^\circ$  角(见图 5(a)) 或者说  $Ox_1 y_1$  坐标系旋转  $45^\circ$  就成为  $OXY$  坐标系, 与前面一样, 只分析一下全息片上的光强分布。

用  $a_2, b_2$  代表新的字样,  $A_2, B_2$  代表其频谱。记录全息图时输入平面后的光场是

$$\begin{aligned} & a_2(x_1, y_1) + b_2(x_1, y_1) \\ &= \text{rect}\left(\frac{X}{d_3}, \frac{Y}{d_3}\right) \otimes \left\{ \text{comb}\left(\frac{X}{d_2}, \frac{Y}{d_2}\right) \cdot [a(x_1, y_1) + b(x_1, y_1)] \right\}, \end{aligned} \quad (9)$$

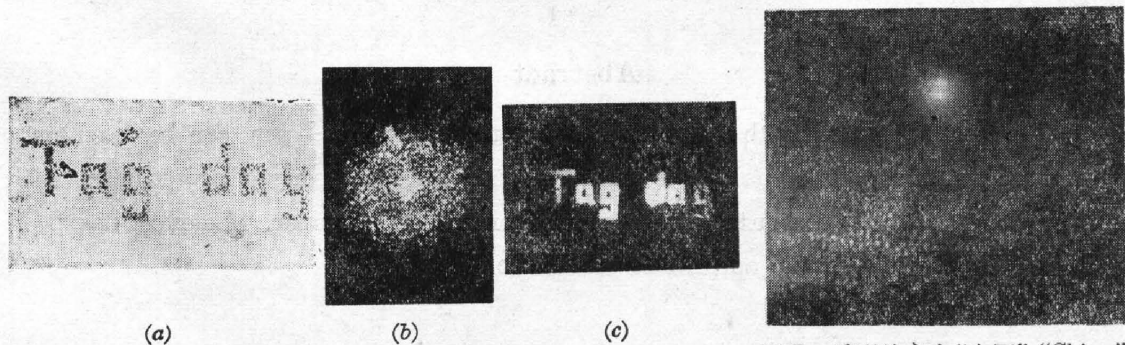
式中  $d_3$  表示光栅槽的宽度,  $X = x_1 \cos 45^\circ + y_1 \sin 45^\circ$ ,  $Y = -x_1 \sin 45^\circ + y_1 \cos 45^\circ$ ,  $a, b$  即原来的字样。频谱平面上光场分布是

$$\begin{aligned} & A_2(\xi, \eta) + B_2(\xi, \eta) \\ &= \left[ \text{sinc} \frac{E}{D_3} \text{sinc} \frac{H}{D_3} \right] \cdot \left\{ \text{comb}\left(\frac{E}{D_2}, \frac{H}{D_2}\right) \otimes [A(\xi, \eta) + B(\xi, \eta)] \right\}, \end{aligned} \quad (10)$$

式中  $E = \xi \cos 45^\circ + \eta \sin 45^\circ$ ,  $H = -\xi \sin 45^\circ + \eta \cos 45^\circ$ ,  $D_2 = \frac{f\lambda}{d_2}$ ,  $D_3 = \frac{f\lambda}{d_3}$ ,  $A$  与  $B$  是原来字样的频谱。实验结果见图 5, 注意图 5(b) 中频谱平面上强度分布与 (10) 式是一致的。(8), (10) 两式均为振幅分布, 但从中可以推想到强度的分布。) 从图 5(c) 中可以看出效果有了进一步的改善。

## 3. 文字由随机花样构成。

这次是由 Tag 译成 day, 从图 6(b) 中可以看出全息图上的光强分布也有随机性。输出平面上的效果(图 6(c))也较好。



(a) 字符由随机的点子构成。(b) 全息图。(c) 德译英的结果

图 6

(a) 字符由随机的点子构成。(b) 全息图。(c) 德译英的结果



图 7 透明的文字“中国”, “China”迭加上毛玻璃后在  $H$  平面上记录到的全息图

#### 4. 迭加毛玻璃

把毛玻璃放在输入平面前与字符片迭加在一起,记录到的全息图(见图7),可以认为属于“白噪声”型。进行“翻译”时,由于毛玻璃把光能量分散得太开,虽然输出平面上笔划是清晰的,但光强实在太弱,没有作记录。

### 四、讨 论

我们所做的,仅是初步的实验,还应考虑如何提高衍射效率及信噪比,以及如何在一张全息片上存有若干对单词等等。

在非涅耳全息图中,物光与参考光的地位同样是对等的。菲涅耳全息图也可用来作单词翻译,但由于它不具有平移不变性,因而缺乏实用意义。

在理论分析上,应该有共轭项;但在实验中,共轭项一般不出现,出现时也很暗,这可能是记录介质的衍射效率不够的原故。

### 参 考 文 献

- [1] 王永昭;《物理》,1974, **3**, No. 1 (Jan), 28.
- [2] P. J. Van Heerden; *Appl. Opt.*, 1963, **2**, No. 4 (Apr), 387.
- [3] G. W. Stroke; *Phys. Lett.*, 1965, **18**, No. 3 (1 Sep), 274.
- [4] K. S. Pennington; *A. P. L.*, 1966, **8**, No. 1 (1 Jan), 14.
- [5] A. W. Lohmann; *Appl. Opt.*, 1967, **6**, No. 6 (Jun), 1139.
- [6] W. E. Kock; *«Engineering Applications of Lasers & Holography»* (Plenum Press., 1975), 74.
- [7] M. Francon; 《光学》(科学出版社, 1979), 94.
- [8] 凌德洪等;《江苏师范学院学报》, 1980, No. 1, 91.
- [9] J. O. Bolstad; *Appl. Opt.*, 1967, **6**, No. 1 (Jan), 170.

## The experiments of word-translation with Fourier hologram

LING DEHONG ZHANG CHENGHUA AND WANG CE  
(Laser Research Section, Jiangsu Teachers College, Suzhou)

(Received 1 November 1980)

### Abstract

A Fourier hologram with informations in the reference beam can be used as a holographic translator. The analysis is made based on the reciprocity of object beam with reference beam and experimental results are presented in this paper. The effect has been improved through the spatial amplitude modulation.