

信息光学也称为**变换光学**或**付里叶光学**，它的基本概念起源于19世纪后期。20世纪60年代激光问世后，迅速发展为一门新的光学学科。

**基本思想**：用频谱的语言分析物面的信息，用改变频谱的手段来处理信息。

物面

→

空间  
频谱  
分析  
系统

→

空间  
频谱

→

频谱  
处理  
系统

→

处理  
后的  
物像

2

**一. 空间频率**：单位长度内空间分布重复的次数  
任何周期性空间分布，都有一定的空间频率，  
例如**光栅**： $d$ —空间周期， $f = \frac{1}{d}$  — 空间频率  
又如**单色平面波**，对传播方向 $z'$ ：

空间周期  $d_{z'} = \lambda$

空间频率  $f_{z'} = f = \frac{1}{\lambda}$

$x$ :  $d_x = \frac{\lambda}{\cos \alpha}$ ,  $f_x = \frac{\cos \alpha}{\lambda}$

$z$ :  $d_z = \frac{\lambda}{\cos \gamma}$ ,  $f_z = \frac{\cos \gamma}{\lambda}$

可见，**同一个波在不同方向空间频率也不同**。  
对任意方向传播的单色平面波：

$$\begin{cases} f_x = \frac{\cos \alpha}{\lambda} \\ f_y = \frac{\cos \beta}{\lambda} \\ f_z = \frac{\cos \gamma}{\lambda} \end{cases}$$

4

**二. 光栅夫琅禾费衍射的空间频率**

$x$ 向:  $\alpha = \frac{\pi}{2} - \theta$ ,  $\theta$ : 衍射角

$y$ 向:  $\beta = \frac{\pi}{2}$ ,

$\therefore \begin{cases} f_x = \frac{\cos \alpha}{\lambda} = \frac{\sin \theta}{\lambda} \\ f_y = \frac{\cos \beta}{\lambda} = 0 \end{cases}$

由明纹条件  $d \sin \theta = k\lambda$   $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

有  $f_x = \frac{\sin \theta}{\lambda} = \frac{k}{d}$

5

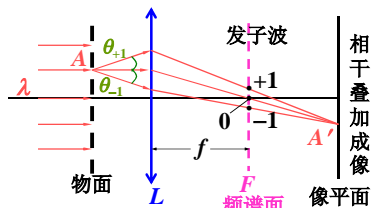
对  $f_x = \frac{\sin \theta}{\lambda} = \frac{k}{d}$  的讨论：

- (1) 物是一系列不同的空间频率信息的集合，一定的 $\theta$ 对应一定的 $f_x$ ，也对应一定的 $k$ 。
- (2) 物上不变的部分 $d \rightarrow \infty$ ，即 $f_x = 0$ ， $\theta = 0$ 。中央明纹反映的是物上不变化的部分。

**三. 阿贝 (E. Abbe) 成像原理**

阿贝从波动光学角度对透镜成像做了新解释，他指出，成像过程可分解为两步：

6



- 第一步:**入射光经物平面发生夫琅禾费衍射，在 $L$ 的焦平面上形成一系列的衍射斑纹，此即物的空间频谱。
- 第二步:**各衍射斑纹发出的子波在像平面上相干叠加形成物的像。

7

这样，我们对夫琅禾费衍射有了新认识：

在数学上我们可以将一个函数作付里叶展开。同样，一张图（物）也是由许多不同空间频率的单频率信息所组成。单色光正入射到图上时，通过夫琅禾费衍射，一定空间频率的信息就被一束特定方向的衍射波输送出来，并且以衍射斑纹的形式展现在透镜 $L$ 的焦平面上。所以，理想的夫琅禾费衍射装置—透镜，正是一个付里叶频谱分析器，透镜的后焦面就是图片的付里叶频谱面（付氏面）。

8

以上认识给了光学一个强有力的数学手段—付氏分析，也给了数学上的付氏变换的运算提供了一个新技术—光学计算术。

一个透镜就是一个光学模拟计算机。

光学模拟计算机的优点：

- 1) 能直接处理连续函数，不需要抽样离散化...
- 2) 能直接处理二元函数 $f(x, y)$ 。
- 3) 是并行输入，光束交叉可独立传播。
- 4) 速度快，不受电路时间常数 $RC$ 的限制。
- 5) 装置简单，价格低。

9

光学模拟计算机的不足：

- 1) 直接处理数据信号很困难。
- 2) 易受干扰。
- 3) 只能进行付氏变换运算，作其它运算困难。

光学专家和计算机专家们正在探索光学计算机由模拟化走向数字化。

利用光学双稳态元件(如一些电光晶体器件)，可以在电信号的控制下，达到透光和不透光，即实现 $(0, 1)$ 状态，从而可实现数字化。

10

1990.1.29 贝尔实验室数字光处理器：

光开关的速度 10亿次/秒

运算速度 100万次/秒

不久达到 几亿次/秒

光计算机要求光子元件小型化、集成化

—— 集成光路

美国防部将此列为22项关键技术之一。

1993年  $1\text{cm}^2$  GaAs衬底上集成了一百多个电泵浦微型激光器。

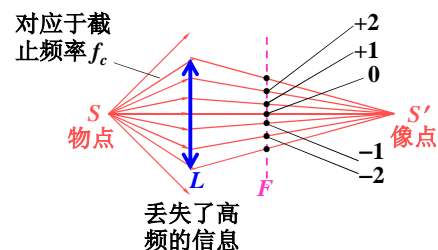
同年美国研制成了世界上首台光计算机。

光子技术是本世纪初国际技术竞争的焦点之一。

11

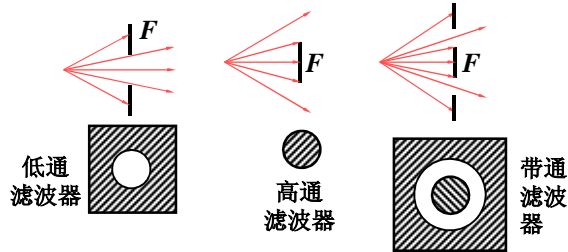
#### 四.空间滤波

由于透镜的孔径有限，使物光通过透镜后，总是要丢掉较高频的信息。



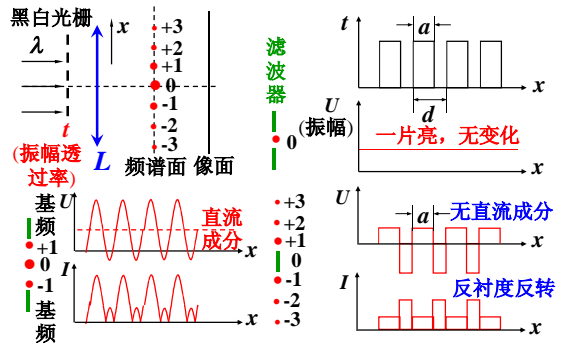
12

使用透镜会丢失高频信息，从另一角度说明，  
改变频谱可改变物光的信息 — **空间滤波**。  
在频谱面上放置空间滤波器，可改造空间频谱。

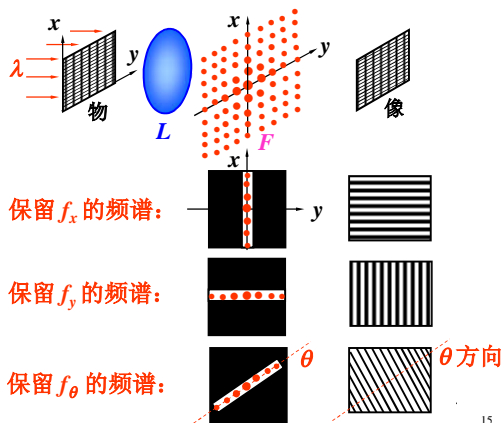


13

### △ 阿贝 (1874) 波特 (1906) 实验:



14

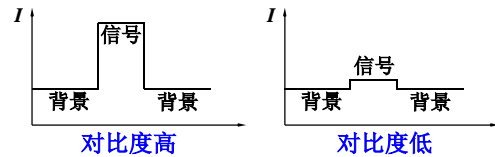


15

### 五. 光信息处理举例

#### ▲ 轮廓突出和低对比度图形的识别 (边缘增强)

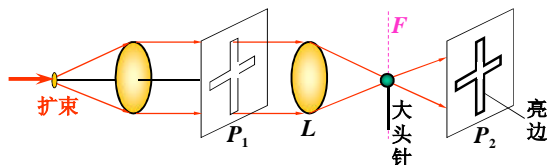
物体某部分的亮度与背景亮度之比叫**对比度**。



勾出物体轮廓，是识别低对比度图形或物体的有效方法。**边缘亮度变化剧烈，高频成分丰富。物体边缘以内及背景光强变化较慢，主要是低频和直流成分。**

16

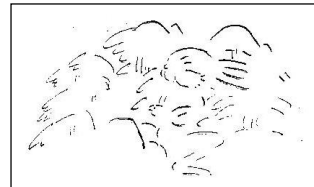
**方法：**在物的频谱面F上放一个高通滤波器（玻璃片中心镀个不透明的斑），**挡掉0级和低频成分，从而突出轮廓亮度**——形成亮的镶边。



高频滤波和轮廓突出

17

#### 轮廓突出前

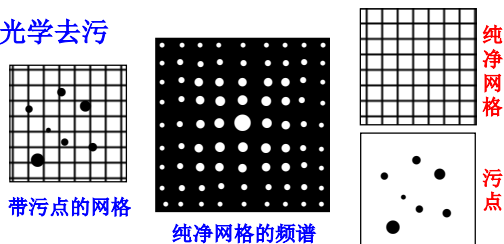


#### 轮廓突出后



18

### ▲光学去污



用纯净网格谱的**正片**滤波，可得到**纯净网格**。  
用纯净网格谱的**负片**滤波，可得到**污点**。  
光学去污主要用于工业制版(大规模集成电路)  
—— 检查模版上的污点(噪声)或复制模版。

19

### ▲光学特征识别

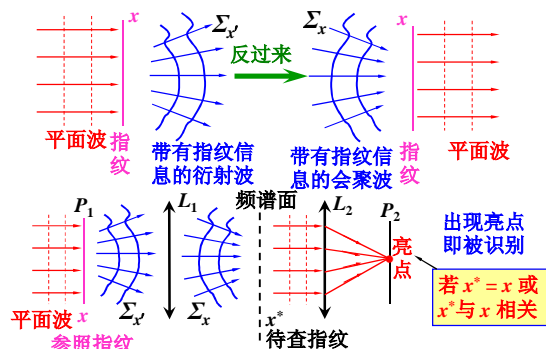
光学特征识别是把已知物的付氏谱和待测物的付氏谱进行比较，从而找出待测目标。

特征识别系统可以做到：

- ◆从卫星照片中检测军事目标
- ◆从文件中检测某个字
- ◆从细胞中检测癌细胞
- ◆进行航空测量
- ◆光学侦破(指纹识别)
- ◆.....

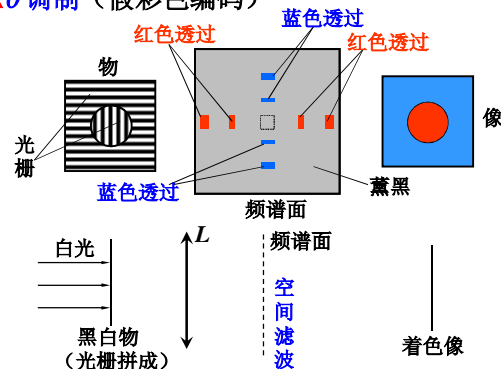
20

### 例如指纹识别：



21

### ▲θ调制(假彩色编码)



22

头发的  
电子显  
微镜黑  
白照片



相应的  
假彩色  
照片可  
显示一  
些细节



演示 θ调制 [theta调制.mpeg](#)

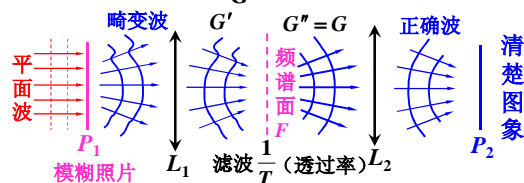
23

### ▲模糊图象处理(离焦模糊、运动模糊)

设:  $G(f_x, f_y)$  — 清楚图像的谱,

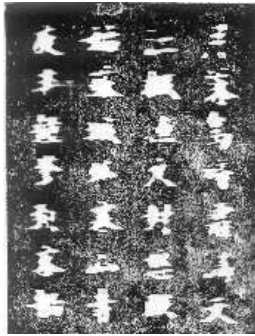
$G'(f_x, f_y)$  — 模糊图像的谱。

令:  $T(f_x, f_y) = \frac{G'}{G}$  — 模糊因子, 则  $G' = TG$

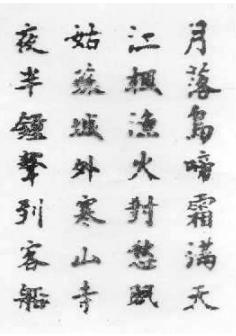


滤波后  $G'' = \frac{1}{T} G' = \frac{1}{T} TG = G$  关键是找到  $T$

24



消模糊处理前的碑文

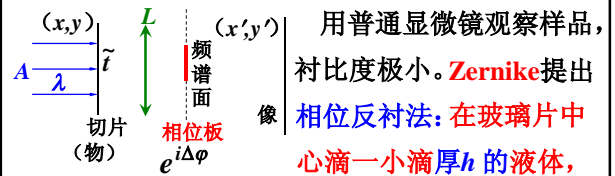


处理后的碑文（唐诗）

25

### ▲相衬显微镜—提高待测样品的衬比度

样品是无色透明的生物切片或晶片时，其透过率函数是相位型的： $\tilde{t}(x, y) = e^{i\varphi(x, y)}$ ， $\varphi$  很小。



用普通显微镜观察样品，衬比度极小。**Zernike**提出**相位反衬法**：在玻璃片中**心滴一小滴厚 $h$ 的液体**，

放到频谱面上引起**0级相移**： $\Delta\varphi = \frac{2\pi nh}{\lambda}$

26

$$\tilde{U}_{\text{物}}(x, y) = A\tilde{t}(x, y) = Ae^{i\varphi(x, y)}$$

$$= A \left[ 1 + i\varphi - \frac{1}{2!}\varphi^2 - \frac{i}{3!}\varphi^3 + \dots \right]$$

经相位板后，**0级相移了 $\Delta\varphi$** ，其它变化不大。

$$\begin{aligned} \tilde{U}_{\text{像}}(x', y') &= A \left[ e^{i\Delta\varphi} + i\varphi - \frac{1}{2!}\varphi^2 - \frac{i}{3!}\varphi^3 + \dots \right] \\ &= A \left[ (e^{i\Delta\varphi} - 1) + e^{i\varphi}(x', y') \right] \end{aligned}$$

27

### 像的光强：

$$\begin{aligned} I(x', y') &= \tilde{U}_{\text{像}}(x', y') \cdot \tilde{U}_{\text{像}}^*(x', y') \\ &\approx A^2 [1 + 2\sin\Delta\varphi \cdot \varphi(x', y')] \end{aligned}$$

( $\varphi \ll 1$ )

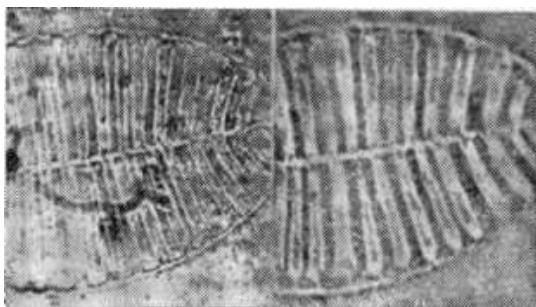
通常选  $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$ ，即  $h = \frac{\lambda}{4n}$ ，这样有：

$$I(x', y') = A^2 [1 + 2\varphi(x', y')]$$

于是像的光强中就更加突出了相位的变化。

**Zernike** 因此获得了**1953年诺贝尔物理奖**。

28



普通显微镜（左）和相衬显微镜拍摄的硅藻照片

29

总之，信息处理的**关键**在于研究清楚信息的**频谱特征**，然后针对它研制相应的**空间滤波器**，从而按照需要改变频谱，以达到对图象信息进行处理的目的。

### 参考书目

- ▲《光学》下册，赵凯华、钟锡华。
- ▲《从波光学到信息光学》，宋菲君。
- ▲《大学物理学》（第四册）张三慧等。

—完—

30