

光学图象的相减

摘要 用光学方法把一个图象从另一个图象中减去以便探测景物间或者景物的照片之间的区别, 这种方法有若干种。这种技术有许多用途: 包括地球资源研究, 气象学, 自动监视, 以及/或者检查, 图象识别, 城市发展研究, 以及带宽压缩等。本文对于获得光学图象相减的若干技术(包括全息的, 干涉计量的, 编码的, 以及正负重迭的方法) 提供一个概括。作为评论的一部分, 提供一个表格, 它总结和比较了多于25种途径的特征。也给出了大量的文献。

引言

有若干种用光学方法把一个图象从另一个图象中减去的方法, 其目的是为了探测景物照片间的差别。这种能力在如下的方面是有价值的, 比如: 城市发展, 公路规划, 陆地使用, 新的结构, 地球资源研究, 气象学, 以及自动监视和/或检查。光学图象的相减也可以在通讯中(例如电视和 video phones) 作为带宽压缩的手段而获得应用, 因为它只需要在次序的周期中传送图象间的差别, 而不是每一周期中的整个图象。本文对下面的光学图象相减方法提供一个概括(尽量少用数学)

I 全息方法:

A. 双曝光

B. 单曝光

C. 光束分离器

II 非全息干涉计量方法

A. Mach Zehnder

B. 光栅

C. 剪切板

D. 三角形的干涉仪

E. 偏振棱镜

III 编码方法

A. Ronchi 光栅

B. 偏振位移干涉条纹

C. 随机漫射板

IV 正-负片迭加方法

A. 摄影的

B. 电-光晶体

表1 提供了这些方法的总结。

表1 光学图象相减技术^a

方 法	所需步骤数	实时相减可能性	振幅或强度相减 ^b	用于光学处理的可能的光源					
				时 间 相 干			空 间 相 干		
				单色 (激光)	准单色 (如汞光源)	扩展源 (白光点光源)	狭缝光源	扩展光源	
I. 全息方法 ^c									
A. 双曝光方法									
1. 傅里叶变换	5	否	振幅	是	否	否	是	否	否
2. 菲涅尔变换	5	否	振幅	是	否	否	是	否	否
3. 非相干傅里叶变换	5	否	振幅	是	否	否	是	否 ^d	否 ^d
4. 圆偏振光方式	5	否	振幅	是	否	否	是	否	否
B. 单曝光方法									
1. 像面	3 ^e	否 ^e	振幅	是	否	否	是	否	否

方 法	所需步骤数	实时相减可能性	振幅或强度相减 ^b	用于光学处理的可能的光源						
				时 间 相 干			空 间 相 干			
				单色 (激光)	准单色 (如汞光源)	扩展源 (白光源)	点光源	狭缝 光源	扩展 光源	
2. 傅里叶变换	3 ^e	否 ^e	振幅	是	否	否	是	否	否	
3. 菲涅尔边带	3 ^e	否 ^e	振幅	是	否	否	是	否	否	
4. 圆偏振光方式	3 ^f	否 ^f	振幅	是	否	否	是	否	否	
C. 光束分离器方法	3 ^g	否 ^g	振幅	是	否	否	是	否	否	
I. 非全息干涉计量方法										
A. Mach Zehnder 方法	1	是	振幅	是	是	是	是	是	是	
B. 光栅方法 ^a										
1. 单光栅	1	是	振幅	是	是	否	是	是	否	
2. 在并行中的两个光栅	1	是	振幅	是	是	否	是	是	否	
C. 剪切板方法										
1. 单剪切板	1	是	振幅	是	是	否	是	是	否	
2. 双剪切板	1	是	振幅	是	是	否	是	是	是	
D. 三角干涉仪方法										
1. 单三角干涉仪	1	是	振幅	是	是	是	是	是	否	
2. 双三角干涉仪	1	是	振幅	是	是	是	是	是	是	
E. 偏振棱镜方法	1	是	振幅	是	是	是	是	是	否	
II. 编码方法										
A. Ronchi 光栅方法										
1. 双曝光	5	否	强度	是	是	否 ^k	是	是	否 ^k	
2. 同时曝光										
a. 在并行中的两个光栅	3	否	振幅 ^l	是	是	否 ^k	是	是	否 ^k	
b. 在顺序中的两个光栅	3	否	强度 ^l	是	是	否 ^m	是	是	是	
c. 反射 Ronchi 光栅	3	否	强度 ^l	是	是	否 ^k	是	是	否 ^k	
B. 偏振-位移干涉条纹方法										
1. 双曝光										
a. 沃拉斯顿棱镜	5	否	强度	是	是	否	是	是	否 ⁿ	
b. Savart 板	5	否	强度	是	是	否	是	是	否 ⁿ	
c. Ronchi 光栅	4	否	强度	是	是	否 ^k	是	是	否 ^k	
2. 同时曝光	3	否	强度 ^l	是	是	否 ^k	是	是	否 ^k	
C. 随机漫射板方法	5 ^o	否	强度	是	是	否 ^k	是	是	否 ^k	
IV. 正-负重迭方法										
A. 照相方法	3	否	强度 ^p	是	是	是	是	是	是	
B. 电-光学晶体方法										
1. 相乘	3 ^q	否	强度 ^p	是	是	否 ^r	是	是	是	
2. 相加	4 ^q	否	强度	是	是	否 ^s	是	是	是	

a. 在这个表中, 这些数据的起点是用普通(非相干)光记录的两张摄影透明片。

b. 对于两个输入透明片, 假定强度透过为 P_1 和 P_2 , 那么, (1) 对于振幅相减的输出为 $|\sqrt{P_1} - \sqrt{P_2}|^2$ 的形式, 透明片必须嵌在液体门中; (2) 对于强度相减的输出为 $|\sqrt{P_1} - \sqrt{P_2}|$ 的形式。而且不需要液体门。

c. 虽然在理论上, 一个点(或有时一个狭缝)准单色光源可以用于构成和重现步骤, 而实际上说,

一般地在全息方法中采用激光，它有高度相干性和高的强度。

d. 在文献5中，双曝光全息图是用一个扩展光源来记录的（激光同一个毛玻璃板组合起来）；然后重现是用点的激光光源来实现的。

e. 在第一个照片的全息图制作出来之后，从第一个照片以后的照片的实时相减是可能的，在那种情况中，以后的相减仅需一步。

f. 用这种圆偏振光方法，仅需三步，而实时相减是决非可能的。

g. 在用三光束干涉仪以全息的方法制作出一般的光束分离器之后，任何两个摄影透明片的完全实时相减是可能的，这样以后仅需一步。

h. 在文献21—23中，为应用于编码方法，叙述了三光栅技术。把这些技术采用到干涉计量像的相减的实时运算是可能的，这正如在文章中讨论的。

i. 在一个剪切板上镀以高折射率膜层，引进一个带宽的 π 弧度相位变化，允许使用白光源。

j. 当待相减的两个像是在两个不同时间下的一个景物（而不是透明片）时，这个技术是比较实用的。

k. 景物可以用一个扩展的白光源来编码/记录（而光学处理步骤要求单色或准单色点或狭缝光源）

l. 如果 P_1 和 P_2 是用空间和时间非相干光照明的（比如在Mach-Zehndev干涉仪中应用扩展白光源，在两臂中光程不等），将获得强度相减，否则将获得振幅相减。

m. 在文献23中二个光栅顺床的方法是以在以前的文献中（文献29）首先讨论的技术为基础的，在那个文献中，使用了白光源，然而，对白光源相减的扩展在文献23中未予讨论。

n. 这些景物可以用扩展的单色或准单色光源来编码和记录（而光学处理阶段需要单色或准单色点光源或狭缝光源）

o. 通过增加曝光次数（因而也就增加了步骤数），在这里，在两次曝光之间，漫射板移动，可以得到较大的信噪比。

p. 这个过程都是多重运算，因为 P_1 的负片被 P_2 的正片相乘，以便探测差别。

q. 这些步骤之一， P_1 的对比颠倒可以用电压开关以接近实时来完成（在毫秒的数量级上）。

r. 为了纪录 P_1 需要蓝光，对于用 P_2 作多重读出需要红光。

s. 对于记录 P_1 和 P_2 需要蓝光，对于附加读出需要红光。

区别下面三种图象相减是必须的：两个活景物的相减（一个活景物被规定为实际空间中的两维或三维目标），一个活景物和一个被存储的景物（亦即景物的全息或照片）的相减，两个被存储的景的相减，几乎变化或差别探测的所有应用都包含或者一个活景物和一个存储景物，或者两个存储景物的相减。含有一个活景物和一个被存储的景物的相减的应用包含监视，检查、压力和张力的观察，以及振动分析。然而，本文仅限于摄影图象的光学相减，比如在不同时间拍的两张照片或者一个原照片（例如一个集成电掩模）和一个复制的照片。这样一来，仅仅考虑振幅或者强度（而不是相位，相减。用来比较各种技术的起点将是具有强度透过为 P_1 和 P_2 的两个胶片透明片，它是用普通的非相干光记录的。振幅相减将导致正比于形如 $|\sqrt{P_1} - \sqrt{P_2}|^2$ 的输出差，并且要求： P_1 和 P_2 要嵌在液体门中，以便消除透明片的任何厚度

变化的效应。强度相减为 $|P_1 - P_2|$ 的形式，因而并不需要液体门。对两张照片间差别，强度相减要比振幅相减敏感。这由下面的判断可以看出。由强度相减得到的输出可以写为： $|P_1 - P_2| = |\sqrt{P_1} + \sqrt{P_2}| \cdot |\sqrt{P_1} - \sqrt{P_2}|$ ，因此，由强度相减和振幅相减得到的输出的比值可以写为 $|\sqrt{P_1} + \sqrt{P_2}| / |\sqrt{P_1} - \sqrt{P_2}|$ 。换言之，由强度相减的这个计算得知，其差别看来比较明显；对于 P_1 和 P_2 之间的较小的差别，这个灵敏度就相当大，然而在某些应用中，在照片中，带有“噪音”的这些，所希望的是应用振幅相减，以便遏止这些小的差别的影响。最后给出了本文所述有关光学相减技术的一些参考文献。

I 全息方法

假定，因为用于相减的起点是两张普通

摄影透明片，用全息方法不可能获得实时相减，因为它至少需要作一张全息图。然而用单次曝光和分光器方法，在制做一个全息图之后，那么实时相减才成为可能。除了非相干傅里叶变换方法外，全息技术是振幅相减的结果。这样就要求使用液体门，而且在构成和重现步骤中要求使用相干光。虽然在理论上，可使用一个点（或有时为一个狭缝）准单色光源，实际上，全息方法是使用激光，因为它有很高的相干性和高强度的性质。

A. 双曝光方法

这些是分五步，第一步是记录第一个透明片 P_1 的潜象傅里叶变换全息图，如图 1 所示。对于下二步，一个 π 弧度相位位移引进到参考光束中，而且制作第二个透明片 P_2 的傅里叶变换全息图。第四步是把带有两个潜象傅里叶变换全息图的胶片显影。最后，用参考光束照明这个显影了的双曝光全息图，就会得出 P_1 和 P_2 间的差别。这个 π 弧度相位位移可以通过在参考臂中嵌入一个 π 弧度相位板来完成。通过改变在一个短的空气—充满的单元（嵌在参考臂中）的压力，可以引进适当的相位变化，如图 2 所示，它是双曝光菲涅尔变换全息相减的一个例子（这个活动的屏蔽可以暂时移走以便监视位相变化）。

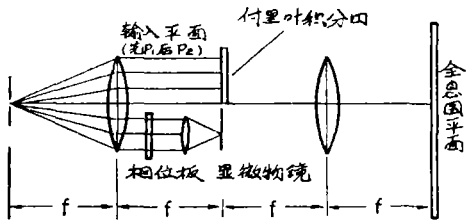


图 1 对于图象相减，用于构成双曝光全息图的光学结构。待比较的照片 P_1 和 P_2 每次在输入平面中放一个，而且每一个的潜象傅里叶变换全息图被顺序地记录在照相干板上，在记录之间用相位板引进一个 π 弧度相位变化（取自文献 3）

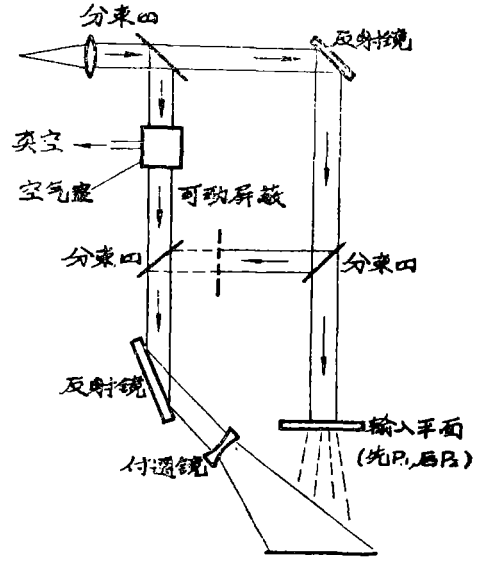


图 2 对于图象相减，为了构成双曝光全息图的另一种光学排列。在这种情况下，对每个照片的菲涅尔变换全息图被相继记录并带有 π 弧度相位变化，它通过改变空气室的压力来引入的，暂时移去可动的屏可监视这个变化。（取自文献 4）。

还有一种双曝光全息图技术，它使用空间非相干光来构成全息图。不是应用一个点光源，而是使用和一块毛玻璃板组合的激光。因而这个光被剪切成两束光，一束在轴的上边以照明输入平面中的 P_1 ，一束在轴的下边用作参考光束。当重新组合光束之后，它们逐点相干，而且这样一来它们相干涉而形成全息图。在完成一次曝光之后，嵌入 P_2 而代替 P_1 。可以引进 π 弧度相位变化，引进的方法为：在 Hopkins 的干涉仪中，使反射镜中的一个相对于其它棱镜（用压电陶瓷的方法）位移 $\lambda/4$ 的距离来实现，这正如文献 5 中所建议的。应用空间非相干光的优点是使记录的全息图中的斑点噪音降低。（全息图的重现和最后的傅里叶变换仍然用〔点源〕激光来完成）。最后的输出差别为 $|P_1 - P_2|^2$ 的形式，因此不需要液体门。

对于图象相减，另一种双曝光全息图的形式为：首先用一个圆偏振参考光束记录垂直偏振光照明的 P_1 ，而后记录水平偏振光

照明的 P_2 。通过用一个与参考光束相反方向的圆偏振的光来照明 P_1 和 P_2 的输入平面可以很容易完成这一点，而后，对于 P_1 ，则首先在垂直位置用一个线性起偏器/检偏器，而后，对于 P_2 旋转至水平方向。用这个手段根据下面理由提供了 π 弧度相位变化。对于目标光束垂直分量导先于（或滞后）水平分量于 $\pi/2$ 弧度（根据圆偏振光的定义）。对于参考光束，垂直分量滞后（或导先于）水平分量于 $\pi/2$ 弧度。因为根据假定：目标和参考光束是在相反方向圆偏振的。纯粹的结果在于：垂直分量（对于 P_1 ）与水平分量相差 π 弧度（对于 P_2 ），这样就完成了相减。

B. 单曝光方法

这些是分三步。在前两步中，全息图首先是由照片 P_1 构成，而后再显影。这个全息图可以是图象平面的，傅里叶变换的或者菲涅尔边带形的，如图 3 所示。对于第三步，第二个照片 P_2 放在通常 P_1 所占的位置中，并且以后， P_1 全息图同时用包含 P_2 信息的光束和参考光束来照明。当两个像精确配准（它可以很容易地通过观察重迭在输出像上的莫尔条纹来监视），就出现了两个像的相消（即相减）。这是下面事实的结果，记录 P_1 的全息图是负的，而且这样，它是 π 弧度的相位差，它具有实时条纹图形（它是参考光束同照明 P_2 的光束相干涉而形成的）。

和双曝光方法比，单曝光方法有一些优点。因为它所包含步骤少，所以单曝光方法就可能快些。此外，在原来照片全息图之后取得照片实时相减是可能的。（还有用光学方法，实时地从存储的景物中减去活景物也可办到。）用双曝光方法仅仅一张照片比较容易同原照片比较，亦即，为了使第三个照片同原照片比较，双曝光方法就要求：所有五步都要重作，然而对于单曝光方法，只有最后一步（这里新照片正确放置和调解直至出现相减为止）必须重复。此外，用单曝光方法， P_1 和 P_2 的实时配准是可能的；这不像

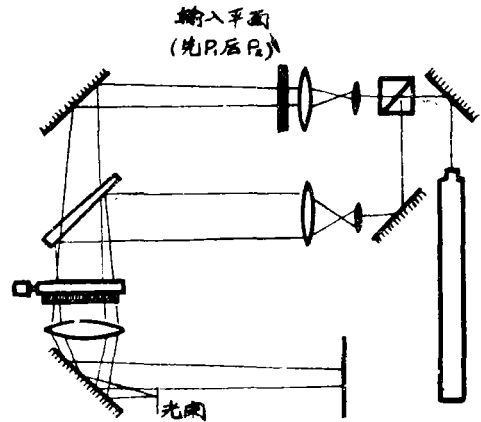
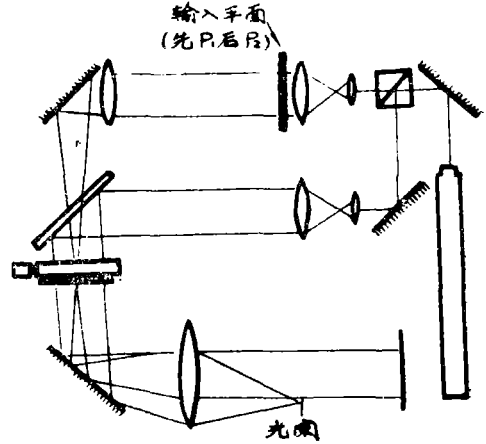
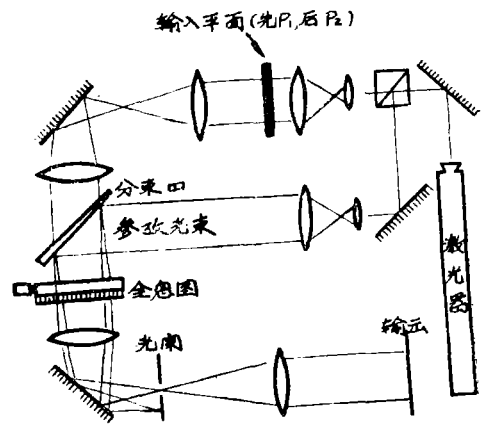


图 3 用来完成单曝光全息图象相减的实验布局，应用(A)像平面，(B)傅里叶变换，(C)菲涅尔边带全息图。由第一个照片 P_1 作的的全息图同被参考光束和物光束〔包含第二个照片信息 (P_2)〕形成的实时干涉图形相比较（取自文献10）。

用双曝光那样，它对高分辨力照片是一个问题。

仅要采取三步的另一种单曝光方法是圆偏振光方法。事实上，这种方法是双曝光（或者转为精确的说，同时曝光）全息图。 P_1 和 P_2 放在透镜的光轴上边和下边相等的地方，而且傅里叶变换全息图由垂直偏振 P_1 光束，水平偏振 P_2 光束和圆偏振参考光束所形成的组合的干涉图形构成。当使这个胶片显影后重现时， P_1 和 P_2 的复数共轭间的差别出现，并且在输出平面的单独位置， P_1 和 P_2 的复数共轭间的差别也出现了。然而，由于假定 P_1 和 P_2 是实函数（亦即，它们具有振幅而没有相位透过）， P_1 的复数共轭等于 P_1 本身。同样的结论适用于 P_2 。这样，在输出平面中， P_1 和 P_2 间的差别（实际上为 $|\sqrt{P_1} - \sqrt{P_2}|^2$ ）就存在了。因此用这种方法，实时地从一个图象减去另一个图象是决不可能的。

C. 光束分离器方法方法

这种途径分三个阶段。通过应用三光束干涉计量，这样的三光束（不包含关于 P_1 和 P_2 的信息）入射到胶片平面上而使全息光束分离器被纪录和显影。正如在图4中所

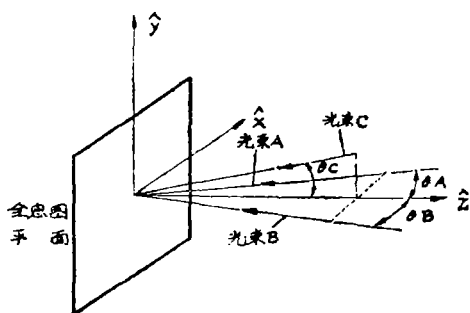


图4 用于光束分离器全息图图象相减的实验排列，“三个光束A、B和C用来构成全息光束分离器。而后阻止光束C，仅让两个照片 P_1 和 P_2 分别嵌入到A和B中。当 π 弧度相位变化引入到 P_1 和 P_2 光束中时， P_1 和 P_2 之间的图象相减就会在一个全息衍射光束中得到。（取自文献11）。

指出的，光束A和B在相同的平面中入射但在 \hat{z} 轴的每一边上成 θ_A 和 θ_B 角。以角度 θ_C 入射光束C，它处在垂直于 $\theta_A - \theta_B$ 的平面中。在制成这个光束分离器以后，第三和最后一步是把照像透明片 P_1 和 P_2 分别地嵌入光束A和B中。（阻止了C光束）输出是十个不同的光束，它们在空间上以不同分量隔开（即有角度的）。这个量取决于 θ_A 、 θ_B 和 θ_C 的各种组合。这些项中的一个将出现在 θ_C 处。如果 π 的相位差引入到A或B的光路中（作者对此没有建议继续作任何特殊方法），就得出 P_1 和 P_2 的相减。应注意到：制成一般的光束分离器之后，任何两个摄影透明片均可相继地实时相减。因为在输出平面中出现十束光，因此那一束光在 θ_C 方向中衍射的效率都变得很重要。

II 非全息干涉计量方法

和用大多数全息技术一样。下面叙述的非全息干涉技术是振幅相减的结果。因此对于这些方法，液体门是需要的。根据这个方法，对在光学处理中所使用的光源的时间和空间相干性要求同全息技术相对不太严格，亦即，没有必要一定要用激光，因而，同斑点相联系的一些问题是最小或者不存在了。对于非全息干涉方法，也可能获得任何两个摄影透明片的实时光学相减（虽然，正如上面指出的，在光束分离器制作出来之后，全息光束分离器技术对任何两张透明片可以完全是实时的。这样，下面要叙述的所有干涉技术是一步（光学相减阶段）方法。为了获得相减，必须在包含 P_1 和 P_2 信息的光束间引进 π 弧度的相位差。虽然，这就自动地把光源限制到窄的波长范围，一个明显的方法是应用相位板。在许多例子中，相位板的孔径也必须等于或者超过一个摄影透明片的孔径，对于相当大的照片来说，这可能是一个问题。另一种方法是通过移动或旋转该系统中的一个光学元件来实时地引进相位变化。

A. Mach-Zehnder方法

如图 5 所示, 一个摄影透明片放在 Mach-Zehnder 干涉仪的每一个臂上。其中, 精细调整一张照片的位置直到获得精确配准为止, 而且引入 π 弧度的相位差。〔应指出: 在文献11和13中建议了图 5 表示的 Mach-Zehnder 方法, 但是, 并没有给出应用这种技术的实验结果。在文献12中, 变化的探测是通过比较横过输出平面的一些条纹的可见度(由两束光之间的狭缝引起的)而发生的。这样, 更严格地说, 那种方法不是真正的图象相减, 仅当波前之间的倾斜为零时, 并且仅仅一个大的(暗的)条纹出现在输出平面中才会发生〕由于光束分成了两束, 然后重新组合, 而且由于光学路程相等,(然而仅做到半波长之内, 因要求 π 弧度相位位移), 应用扩展光源也是可能的。如果一个相位板或者一个平面反射镜的位移是用来产生相位变化, 那么 π 弧度相位变化仅对一个窄波带才能获得(而且, 严格地说, 实际上仅对一个波长), 排除应用白光光源的可能性。然而, 正如都知道的, 对所有波长都能引进 π 弧度相位变化(不恰恰是一个窄带), 当光由边界的密度较稀边反射时(或者较密边, 这取决于偏振), 这个边界把高和低折射率材料分开了。这样, 根据分束器的适当指向以及/或者根据在一个光束分离器上镀以附加的高折射率膜层, 将引进所期望的宽带的 π 弧度相位变化, 从而允许使用白光光源。

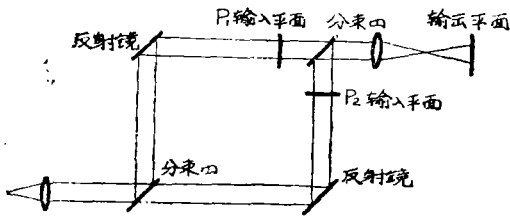


图 5 用于图象相减的 Mach-Zehnder 干涉仪方法。 π 弧度相位变化可通过调节干涉仪中的元件或者通在一个臂中嵌入一个相位板来引进

B. 光栅方法

用单光栅方法, 如图 6 所示, 用一个光栅使摄影透明片 P_1 和 P_2 迭加。例如, 如果使用一个正弦光栅(为了简化), 那么产生了 P_1 和 P_2 的 $m=0, \pm 1$ 级。 P_1 的 $m=+1$ 级同 P_2 的 $m=-1$ 级(把它作成和 P_1 光束有 π 弧度的相位差)相干涉而导致相减。 π 弧度的相位位移或可通过在 P_1 或 P_2 前面放一个半波板来获得, 或者可通过使光栅移动光栅周期的四分之一来获得, 这可以实时地完成。光栅的空间频率 ν 至少必须要比 P_1 和 P_2 中所包含的信息的空间频率大一倍。此外, 为了获得图象的配准和相减, 这个空间频率必须服从关系式 $\nu = b/\lambda f$, 这里 $2b$ 是两张照片中心间的间隔, f 是傅里叶变换透镜的焦距。另一种说法如下: 间隔必须调整到 $2b = 2\nu\lambda f$ 值。〔代替直接地调整 $2b$, 在 P_1 和 P_2 之间的有效间隔可以通过在非准直光中放两张照片来调节, 亦即通过在傅里叶变换透镜后面而在光栅前面放置它们。在这种情况下, 因为照明 P_1 和 P_2 的光是收敛

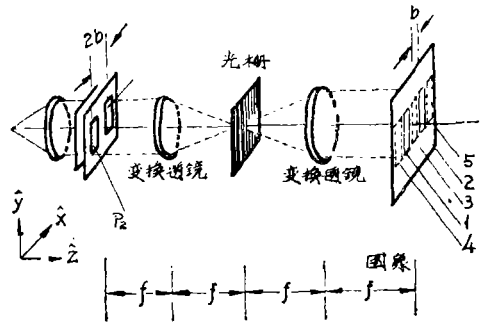


图 6 用于图象相减的单光栅干涉方法。由 P_1 光束的 $m=-1$ 级同 P_2 光束的 $m=+1$ 级相干涉。 π 弧度相位变化可通过使光栅横向于 \hat{Z} 方向位移光栅周期的 $1/4$ 的量来引进, 或者通过在 P_1 和 P_2 前边嵌入一个相位板来实现。在输出平面, 像 1, 2, 3, 4 和 5 对应于下面(正弦)光栅级: (1)对于 P_1 的 $m=0$; (2)对于 P_2 的 $m=0$; (3)对于 P_1 的 $m=+1$ 和对于 P_2 的 $m=-1$ 的迭加; (4)对于 P_1 的 $m=-1$; (5)对于 P_2 的 $m=+1$ 。(取自文献16)

的，因此有效间隔可以通过（同时地）使 P_1 和 P_2 靠近或者进一步远离光栅来改变。然而，根据这种变化有很大可能性是在光束中引进像差。还有，傅里叶变换透镜的直径必须大于当 P_1 和 P_2 以准直光照的情况。] 一个准单色光源（例如被滤波的汞光源）可以用在这种单光栅方法中（进行图象相减），而且可以使用点或狭缝（而不是扩展了的）光源。还有， P_1 和 P_2 中心间的最小间隔 $2b$ 是 $2X_p$ ，这里 X_p 是 P_1 和 P_2 的宽度。这样，在图 6 中表示的输入准直透镜的最小直径为 $3X_p$ 。

图 7 表明一种相减方法，它在 Mach-Zehnder 装置中并行的应用两块光栅。〔这种方法作为专利而被存档在 1968 年 5 月，所以没有作为杂志上的文章发表。在文献 13 中，出现了相似于图 7 的装置，在文章中附有一个建议：干涉和成象光学被连接到相干光学处理器上，但没有说明细节。还有，图 7 所表明的方法，很类似于在下面第三节中要描述的一种光栅编码方法，可是由于它是实时干涉技术，它已在文章中包括〕在并行中的两个光栅要求：光栅 1 相对于光栅 2 要移动半个周期。用一个空间滤波器零级把挡住。由光栅 1 产生的 P_1 的 $+1$ 和 -1 级同光栅 2 产生的 P_2 的 $+1$ 和 -1 级的干涉导致图象相减。这样一来，输出光学起两种作用：(a) 相对于在 Mach-Zehnder 中的准直光而作为傅里叶变换物镜，允许 $m = 0$ 级从 $m = \pm 1$ 级中滤掉；以及 (b) 对于 P_1 和 P_2 以及输出平面，作为成像透镜。还要指出：差别信息相等地包含在 $m = +1$ 或 $m = -1$ 级中，但 $+1$ 是它们在输出平面中重迭，因此通过使 $m =$ 和 $m = -1$ 级都通过来实现较大的强度。如果需要的话， $m = +1$ (或 $m = -1$) 级加上 $m = 0$ 都可滤掉，这正如在文献 20 中所建议的。(文章精确地写出了编码技术，但尽管如此，它也适用于这种情况。) 在这点上还要指出：有三种其它的图象相减技术，它们应用光栅，但是它们通常用作编码方法。它们

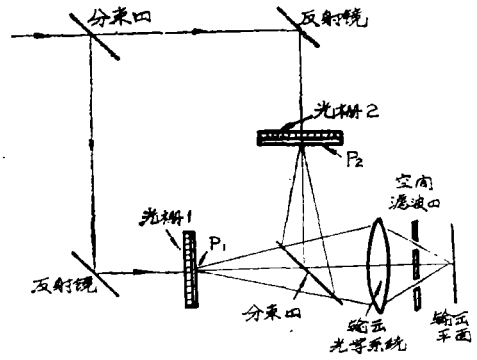


图 7 为图象相减所并行的使用的双光栅的干涉方法。空间滤波器阻止了 $m = 0$ 级，并使 $m = \pm 1$ 级通过。光栅 2 对光栅 1 位移半个周期。(取自文献 19)

在第三节中叙述并在图 13、14 和 15 中表明。在用干涉方法实时地完成相减的这些文章中并没有作任何叙述。然而，通过应用相干的单色或准单色点或狭缝光源和用适当的空间滤波，很可能，这些技术可以以实时地方式来工作。(文献 22 叙述一个光-电子学实时技术但并没提供一个全光学的实时技术)。

图 8 说明：一个单平面平行板如何能用来使两个摄影相减。离开剪切板的三束光（实际上是 4 束，其中两束重迭了）用强度 I_1 、 I_2 和 I_3 来表示。在 θ 方向中接触剪切板起两个作用，使 P_1 和 P_2 来的光束在 \hat{X} 方向重迭，并且也使光程差变化，这样，就有可能很容易引进 π 弧度相位变化。通过使这个板相对于垂直 θ 角的旋转轴的轴倾斜，在 \hat{y} 方向中的迭加也可以获得。因为一个光束通过玻璃板而前进，而且另一束却没有，因此 P_1 必须以量 $Z_f = X_p / t_{a,n} \theta$ 移近板，这里 X_p 是 P_1 和 P_2 的宽度，以便使 P_1 和 P_2 同时聚焦在输出平面处。这个板也引起了一些像散，因为它必须足够的厚才能产生足够的剪切；然而，有若干种用来补偿这一点的技术。由于剪切板的有限厚度， P_1 和 P_2 光束间的光程差决不能为零，这样一来，只有使用单色或准单色点或狭缝光源，亦即不

影透明片的直径那样大。最后另一个剪切板的引进允许使用扩展光源。当高折射率的膜涂到一个剪切板的后表面上时，(其目的是引进宽带的弧度相位位移)可以应用白光光源。

D. 三角形干涉仪方法

图10表示一个三角形干涉仪(由二个反射镜和一个光束分离器构成),它用来使照明摄影透明片 P_1 和 P_2 的光束相迭加。一个三角形干涉仪可以产生剪切,其方法是移动或旋转反射镜或光束分离器。这样, P_1 和 P_2 的 X 迭加可以用两种方法获得: (a) 通过移动反射镜 #1 (或者等量地, 通过移动反射镜 #2), 或者 (b) 通过移动反射镜 #1 (或者围绕 \hat{y} 轴转反射镜 #2 一个适当的量值, 比如说 θ)。 Y 迭加也可通过下面的方法来获得: 围绕垂直于 θ 轴的一个轴倾斜一个反射镜。

(横向和垂直迭加也可以通过应用光束分离器来获得, 但在实验上, 移动一个反射镜可能是较方便的。) 旋转一个反射镜也会使光程差产生一个变化。这样, 和用剪切板方法一样, 调整 θ 可起双重作用—相加和相减。和剪切板方法不同的是: 能使 P_1 和 P_2 处于同一输入面并且仍然使它们同时聚焦在输出平面中。如果反射镜和光束分离器这样来放置, 使入射到两个反射镜上的角度对于两束光是

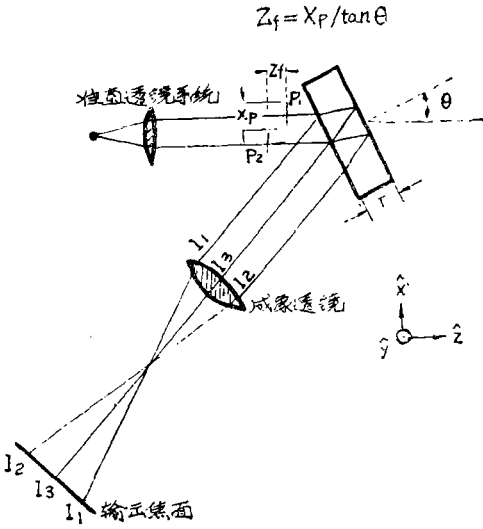


图8 用于两个摄影透明片的相加和相减的单剪切干涉仪。(由文献24)

能使用扩展或白光光源。

对单剪切板方法有一种修改。图9表明带有两个剪切板的一个装置(实质上是一个 J_{amin} 干涉仪)。由于两个板的效果是要剪切输入光束然后使它们再次重迭, 输出图象 I_3 是两个近乎等同的光束(除了 P_1 和 P_2 的影响)的干涉的结果。因为输入波前的偏离对于相干涉的光束是共同的, 因此, 相当低质量的输入准直光学系统也是可以接受的。当两束光迭加的时候, 这样它们就会相消(亦即相减掉了)。这就降低了对反射和分束器的光学质量的总要求, 此外, 因为输入光束被第一个剪切板剪切成两束, 每个照片一束, 图9中需要的准直透镜的直径如同摄

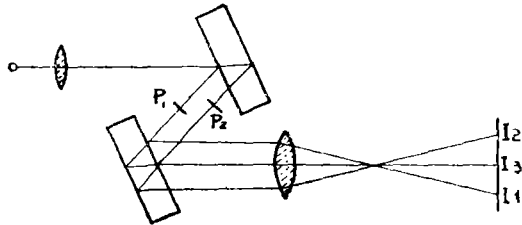


图9 双剪切板干涉仪方法, 允许使用较小的输入准直光学系统, 对波前要求不严格, 并且可使用扩展光源(由文献24)

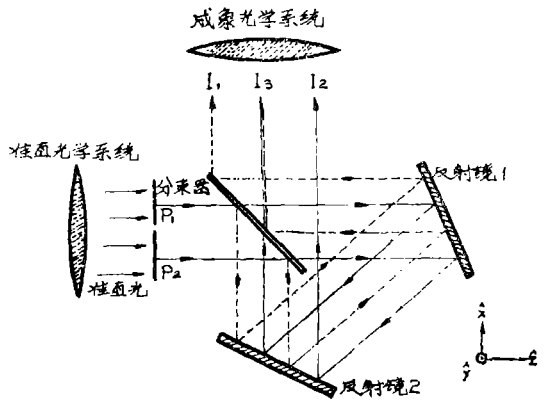


图10 用来获得两张透明片的相加和相减的三角干涉仪, 它可使用白光或者单色点源或狭缝源(由文献24)

相同的,那样就会发生这种情况。在这种情况下, P_1 和 P_2 光束间的光程差可以为零。由于由 P_2 来的光(而不是由 P_1 来的)遭受一个宽带的 π 弧度相位位移(由于从光束分离器的反射),因此,就能够使用白光源而不必在光束分离器上涂上任何附加的高折射率膜层。应说明的是:在三角形干涉仪中的光束分离器可能引进一些像散,正如一个剪切板所做出的。然而,在三角形干涉仪中,光束分离器实际上可以尽可能的薄,它仅受了为了保持高质量的光学图样的机械强度所限制。

通过在输入光学中使用另一个三角形干涉仪,以便把光源光束剪切成两束,用于 P_1 的一束,用于 P_2 的一束(把另一剪切板加到单个板的方法相同的方法),这样就可以采用较小的和较低的质量的输入准直光学。那么也允许使用一个扩展光源。

E. 偏振棱镜方法

图11表明沃拉斯顿(Wollaston)棱镜如何能用来获得图象相减。我们都知道:通过沃拉斯顿棱镜的光束将分成正交的(线性)偏振光,这两束偏振光有规律地对称地在入射光的方向上面和下面加以偏折。根据光束的可逆性,从适当的方向入射到棱镜上的两束这样的正交偏振光束以相反方向通过沃拉斯顿棱镜时将组合成一束。这是在文献27中使用的用来合成 P_1 和 P_2 的方法。在输出平面中,对于检偏振器的适当的定向角 α ,将会

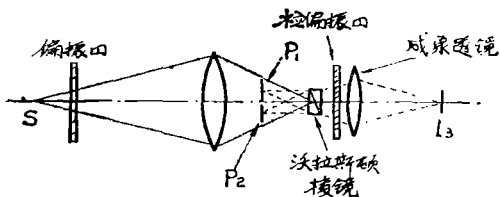


图11 用于干涉图象相减的偏振棱镜方法,沃拉斯顿(Wollaston)棱镜的双折射用来使 P_1 和 P_2 合成,而且,同时,把正交偏振引进每个光束中。在输出平面中,对于检偏振器的适当的方向角,可以出现相减(取自文献27)

出现图象相减。对于方程 $I_3 = C|\sqrt{P_1} \cos \alpha + \sqrt{P_2} \sin \alpha|^2$ (这里 C 是常数),当 α 对于 P_1 的偏振方向成 -45° 时,就会出现相减。这样,这种方法也是一步(实时)过程。必须使用单色或准单色光。也需要点光源或狭缝光源,否则(用扩展光源)由于在输出面中,多次的迭加图象就变模糊。还应指出:用图11表示的这个装置,可以利用的沃拉斯顿棱镜的孔径将确定 P_1 和 P_2 的最大尺寸;然而,在系统中应用附加的去放大光学系统就可以补偿这一点。

III 编码方法

对于使用编码方法的图象相减的基本工作原理如下:摄影透明片 P_1 成象到胶片平面上,该胶片放在同编码机构(例如 Ronchi 光栅)几乎接触,或者其共轭平面上,因此当第一次曝光时,得到了 P_1 的编码潜像。而后编码机构移动一个适当的量,(这由机构的选择来定)而且进行相继的 P_2 的(编码)曝光。经过显影之后,为了进行光学处理,这个胶片放到单色或者准单色点或狭缝光源中。通过适当地空间滤波,可以提取两张照片间的差别。该编码方法可能是三步,四步或五步方法。第一步和第三步是二次编码阶段,而编码机构的移动是第二步。在某些技术中,这些步骤可通过同时或顺序地记录 P_1 和 P_2 的像而组合起来, (P_1 和 P_2) 的每一个都要适当地由光学装置编码。在胶片显影之后,最后一步是光学处理,也就是对这个摄影透明片的傅里叶变换作空间滤波。

为了在本文便于讨论,在引言中表明,相减的起点假定是两张透明片 P_1 和 P_2 ,对于那种情况,同时或相继地记录 P_1 和 P_2 的编码像以后,因为它们允许同时观察和记录 P_1 和 P_2 ,三或四阶段编码方法看来是比较实用的。五个阶段的方法有严格的顺序,并且这样,不允许实时(同时)全光学方法记录两张照片(尽管有光电技术,它将允许

实时记录)。代之,如果待相减的景物本身要作为编码像而记录(在第一次),而且如果胶片平面(相对于景物)在曝光中间和在编码机构的运动过程中不运动,那么五阶段方法可能是实用的。事实上,在这种情况下,在胶片显影之后,所必须的只剩下的一步是光学处理(空间滤波)阶段。还应指出:如果原来两个景物一开始就是以编码的形式记录的,那么它能够仅仅使两个景物彼此相比较,在第三次所摄的第三个照片将不能同前面编码象的任何一个相比较,当然,除非记录第一个或第二个景物的一个以上的编码潜像(在分离胶片上)(但是配准问题再次出现了)。这样,对于航空摄影应用来说,应用三步或四步方法〔亦即,用两个(未编码的)航空摄影透明片开始,而后相继进行编码和空间滤波运算〕通常是比较实用的。

用来记录编码潜象的点光源,狭缝光源以及/或者扩展光源的可能的选用要取决于编码方法的选择。尽管二种偏振位移干涉条纹方法需要准单色光,一般地记录(编码)阶段可用白光光源。然而对于所有编码技术的光学处理阶段,就需要单色或准单色点光源或狭缝光源。下面叙述的绝大多数编码方法是强度相减技术,这样一来,对于 P_1 和 P_2 就不需要液体门了。在这一点上还应指出:编码方法导致十分类似于全息图的空间载波调制像。然而,全息图是通过物光束和独立的参考光束的干涉来进行空间载波调制的,一般地,对于编码方法却不是这种情况。尽管如此,用于光学处理这个空间载波调制像的数学是十分类似于全息图和编码像。

在本节中,编码的三种方法(光栅,偏振位移干涉条纹和随机漫射板)将予以讨论,因为使用这些技术的结果在文献中是可以利用的。也存在其它的编码技术,最后,虽然用于图象相减的光栅技术,(正如在上面第II节中叙述的)可以归类为空间载波方法,但是它们并不需要透明片的任何中间的潜像编码,这样,它们就包括在干涉技术中了。

A. Ronchi 光栅编码方法

在两大普通类:双曝光(4或5步),以及同时曝光(三步)光栅编码方法。(所述的“同时曝光”在这里用来代替“单曝光”因为同时记录 P_1 和 P_2 ,在一次曝光中,在单曝光全息图中仅仅 P_1 实际上以全息图的形式记录。)对于这两类,和用光栅干涉技术一样,光栅的空间频率至少必须是 P_1 (和 P_2)的最高空间频率的两倍,以保证恰当的空间滤波。

如上所述,五类双曝光方法可能比较实用,当原景物(即在两个不同时间相同景物)在一开始就作为编码像来记录;实际上说,这样一来,这将是用于讨论这些方法的起点而不是用两个(未编码的)透明片开始。下面的叙述取自文献28。在两个编码阶段中间,Ronchi光栅(或摄影胶片)移动半个刻线周期(在垂直刻线方向),因此胶片的新鲜面积可以用第二个景物来曝光。在对双曝光胶片显影之后,这就导致一个像,这个像是一个交织组合的图画,带有由每个输入景物引出来的交替窄条。在这种情况下,在这里景物是同一的(而且在这里光栅以足够精度位移,)得出一正常照片。当两个景物不同时,那么两个像的交错边界处(在这里,两个景物的灰度不匹配)出现一个清晰的跃迁,导致组合像的空间调制,这个空间调制的频率由Ronchi刻线的频率来确定,而调制深度或者存在于调制中的对比由灰度的差别来确定。

文献13建议两个其它的机构,它可以用来代替使光栅在曝光之间移动半个周期。用其中一种机构,对于 P_2 的输入平面,连同输出光学和记录胶片平面(但不是光栅),在沿着光轴的方向中位移 $1/v^2\lambda$ 的距离(这里 v 为光栅频率。在这种方法中,输入平面同光栅的负的傅里叶图象重合,它有效地导致一个互补的光栅。另一种机构是使照明光束方向与光栅法线方向倾斜。这可以通过在

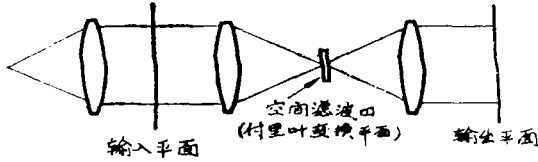


图12 用于编码像的光学处理器，它在傅里叶变换平面的轴上使用一个光栏，差别信息在光栏周围衍射并在输出平面上成象（取自文献28）

光源前边引入一个光楔或者通过在旋转台上放一个光源和准直光学系统完成。

图12表明用来获得差别信息的光学处理器。轴上光栏滤波器滤掉零级并且使包含差别信息的较高级通过(正的和负的)。(这种技术也可以用来处理其它编码技术记录的像。)正如文献20所建议的,如果仅让一个较高级(正的或负的)通过,虽然在那种情况中,其输出强度会很弱,但可以得出相同的差别信息。上,可能希望使用一个级次,以便使实际处理器透镜中的任何像差效果为最小。例如,在理论上所有级次(正的和负的)应该同时进入输出平面中,但在实验上,这种情况不会发生,这会引出输出像模糊,这样一来,产生了仅让一级通过的要求。

在文献13和19, 22以及23中给出对于四步双曝光或者三步同时曝光光栅编码的三种不同的技术。对于同时曝光技术,如果照明 P_1 和 P_2 的光源是彼此相干的,那么导致振幅相减,并且需要液体门。如果光源是非相干的,那么导致强度相减。代言之,如果顺序使用(在四步中)同时曝光技术以便记录 P_1 和 P_2 编码像。不管与否光源是相干的,那么将导致强度相减。在任何一种情况中,必须使用单色或准单色点或狭缝光源去光学处理 P_1 和 P_2 的编码像,而且这样一来取得了差别信息。

一种同时曝光技术应用两个并行光栅,并且等同于图7中给出的装置,除了移走空间滤波器以外,并且把(未曝光的)摄影胶片放在输出平面中以便同时地记录 P_1 和 P_2

的编码潜像。(这种技术首先作为专利而出现,然而在杂志上从未作为文章而发表;以后由其它作者作为文章而出现)在文献13和19所叙述的技术中,由于用相干光来照明 P_1 和 P_2 , 那么导致振幅相减。

在图13中表明的是应用两个顺序光栅的相减方法,在编码阶段它允许使用扩展光源。这种技术建立在以前同一作者讨论的基础上,在这篇文章中,应用两个顺序的光栅而获得了白光条纹;然而,对于白光图象相减的应用在文献23中并没有讨论。当光栅间的间隔 d 是 $1/2\lambda\nu^2$ 的奇数倍数的时候,这里 ν 是(等同的)光栅的空间频率,这种编码方法导致相减。用空间频率为 $\nu d/f_2$ 的条纹图形来调制其输出,这里 f_2 是图13中第二个透

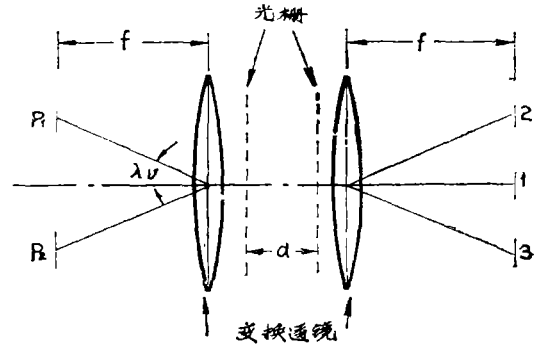


图13 用于图象相减的同时曝光光栅编码方法,它使用两个序列光栅,当光栅的间隔 d 是 $1/2\lambda\nu^2$ 的奇数倍时, P_1 和 P_2 间的相减就出现了,这里 ν 是(等同)光栅的空间频率。在输出平面中,像1, 2, 3 对应于光栅级的下列组合: 1. 对于 P_1 的 $m=+1$ 级同 P_2 的 $m=-1$ 级的迭加; 2. P_2 的 $m=0$ 级同 P_1 的 $m=+2$ 级的迭加; 3. P_1 的 $m=0$ 级同 P_2 的 $m=-2$ 级的迭加。胶片显影后,用图12的装置作光学处理,产生差别信息(取自文献23)

镜的焦距。

第三种技术表示在图14中可以直接看出:用反射的 Ronchi 光栅发生了有效的半周期位移— P_1 通过光栅而透过,而 P_2 由补充部分反射。透镜 L_1 和 L_2 把 P_1 成像到光栅上,而透镜 L_3 和 L_4 把 P_2 成像到栅上,透镜 L_3 和 L_5 把它们再次成像到输出平面

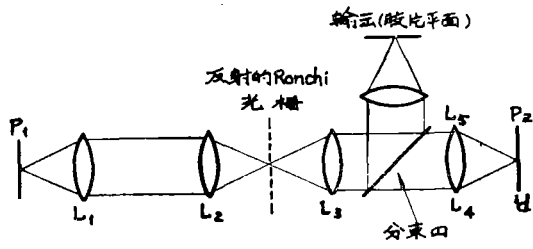


图14 用于图象相减的曝光编码方法，它应用反射的 Ronchi 光栅。 P_1 透过光栅，而 P_2 由互补部分反射，这样，自动地导致半个光栅周期的有效位移。 P_1 和 P_2 的编码像（用非相干光）同时记录在输出平面处。胶片显影后，应用图12的装置作光学处理，产生差别信息（取自文献22）

上。对于这种技术，如文献22所叙述的，可用非相干光源来照明 P_1 和 P_2 ，因此导致强度相减。

B. 用偏振位移干涉条纹来编码

下面要叙述的对于用偏振位移干涉条纹来编码的两种技术是双曝光五步方法；其它种技术或者可用作为四步双曝光方法或者可用作为三步同时曝光方法。总的思想在于：通过适当的应用起偏器/检偏器系统，随着偏振器的90°的旋转的两个互补的正弦或条纹图形可以获得（或者顺序的或者同时的），这样， P_2 的编码像对于 P_1 的编码像产生半个条纹周期的位移。当用 Ronchi 光栅编码时，条纹的空间频率必须大于输入景物或透明片的最大频率的一倍以上。事实上，这个要求正意味着：十分精密的定位精度（到光栅周期的几分之一）的范围内，是必须的，以便使光栅精确地运动半个周期。这个问题可以利用偏振位移干涉条纹编码技术来加以减轻，因为在旋转偏振中的任何误差同 90° 相比是小的。

图15表示用沃拉斯顿棱镜获得偏振位移干涉条纹（编码一个透明片）的一种技术。这样，对于顺序的记录 P_1 和 P_2 的编码像可能存在配准问题它十分相似于图11中的装

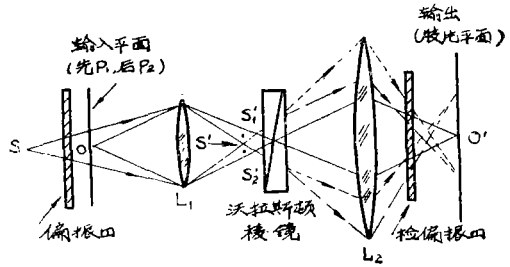


图15 用于编码一个透明片的双曝光相减技术，它采用偏振位移干涉条纹。 P_1 成象到沃拉斯顿棱镜中，而后，再成象在输出平面中，光源 S 被棱镜剪切成二束光，在通过检偏器后彼此相干涉。这样， P_1 的输出象由正弦条纹象来调制。在进行一次曝光之后，用 P_2 代替 P_1 ，而后把检偏器旋转 90° ，因此在输出平面中， P_2 的像由互补于 P_1 的图形的条纹或条纹图形所调制。以后，进行 P_2 的编码像的记录（在如同 P_1 编码图象的同一胶片上），胶片显影光学处理（空间滤波）阶段，应用与图12光相似的装置或用会聚光（取自文献20）

置，但具有某些重要的差别。首先，对于 P_1 （然后 P_2 ）的输入平面处在透镜 L_1 的前边而不是在它的后边。用 L_1 把 P_1 成象到沃拉斯顿棱镜中，而且这样，没有被棱镜所剪切；透镜 L_2 再次把 P_1 成象在输出平面处。（当它被放置在输入平面中时，对于 P_2 也同样如此）用 L_1 把光源 S 成象在沃拉斯顿棱镜前边的某一点 S' 处。当偏振器的指向同沃拉斯顿的轴成 45° 时，该棱镜把像 S' 剪切成两个具有相等强度的正交的（线性的）偏振像，它们看起来是由点 S'_1 和 S'_2 来的。当检偏器放置成和由 S'_1 来的光成 45° 时，在 S'_1 和 S'_2 光束之间的输出平面处出现干涉。总之， P_1 成象在输出平面处，而且是由正弦干涉图形构成强度调制。在进行曝光之后，用来代替 P_1 ，并且偏振器旋转 90° （通过旋转偏振器，它处在发生剪切地方的前面，由于偏振器表面不平度引起的任何相位变化将相等的分布给两个干涉光束，而且这样，将不影响干涉图形。对于检偏器就不是这样的情况了，它处在棱镜的后面，这是因为每个光束通过检偏

器的不同部分。]这导致正弦干涉图形, 该图形互补于(即相对于另一个移动半个条纹)调制 P_1 的输出像的那一个。在显影之后, 在光学上, 该胶片可以用图12所示的装置来处理, 或者用照明胶片的会聚光束的排列来处理, 如文献20所建议的。图15表示的编码技术(对于编码/记录阶段以及光学处理阶段)需要使用单色或准单色点或狭缝光源。文献30建议了一种可以使用扩展光源的技术。如果透镜 L_2 以这样的顺序用 L'_2 和 L''_2 来代替, (a) 沃拉斯顿棱镜处在 L'_2 的前焦面处, 以及(b) O' (即输出平面) 处在 L''_2 的后焦平面处, 那么由 S'_1 和 S'_2 来的波前保持逐点相干, 而且在输出平面中 P_1 (或 P_2) 的像将由正弦条纹图形(即使用扩展源照明)所调制。

图16表示应用 Savart 板的一种技术, 它主要用偏振位移干涉条纹来对景物(但不是透明片)进行双曝光编码。[这个技术也可以用来顺序地编码摄影印制器, 它在反射中被漫射照明, 但可能存在一个配准问题] 在这种情况下, Savart 板可以用来把输入景物的像剪切成正交(线性)偏振的两束。在通过检偏器之后, 它们重合并且在输出平面处相干涉。在进行曝光之后, 偏振器

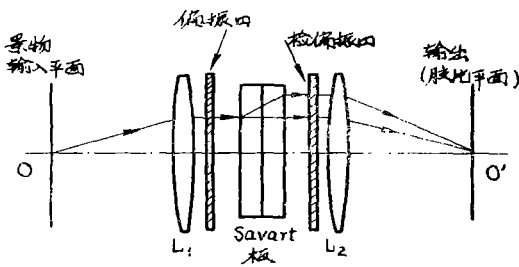


图16 用于编码一个景物的双曝光技术, 它使用偏振位移干涉条纹, Savart 板把由景物来的光束来剪切成正交(线性)偏振的两束, 在经过检偏器和透镜之后, 它们被组合, 并在输出面干涉, 允许使用景物的扩展光源照明。进行一次曝光之后, 偏振器旋转 90° , 并且条纹的互补的结构调制第二个景物(它通常为第一个景物, 但后于某一时间), 第二次曝光之后, 用相似于图12的装置作光学处理, 或用会聚光路。(取自文献20)

旋转 90° 并且(对第二个景物)进行第二次曝光, (即稍后时间的第一个景物) 这时第二个景物由一个同第一个景物互补的条纹图形所调制。经过显影之后, 这个胶片放在光学处理器中, 正如上面讨论的。这个方法对于编码/记录阶段需要单色或准单色光源的时间相干性, 然而对于编码, 可应用扩展光源, 因为这个光束首先由 Savart 板所剪切而后由透镜 L_2 重新组合, 因此保持光源(照明的景物)逐点相干, 和用沃拉斯顿棱镜编码方法的改进方式一样。

图17表明用偏振位移干涉条纹来同时或顺序编码两个透明片的技术。 P_1 和 P_2 用各

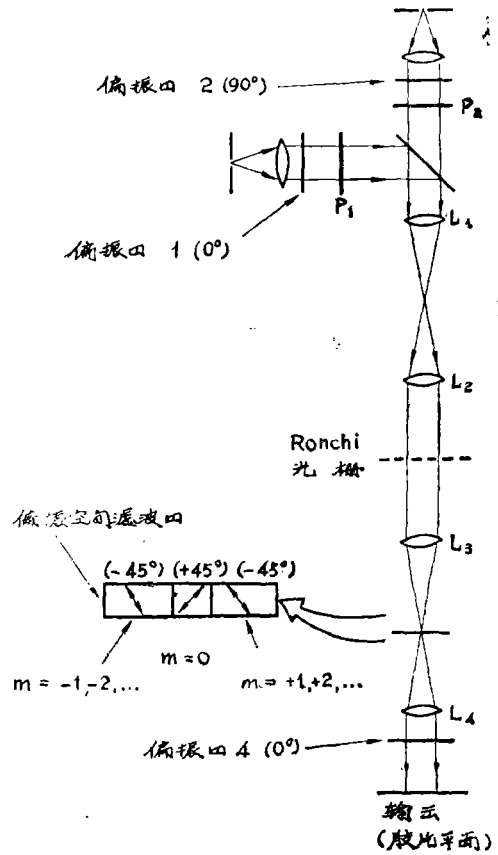


图17 编码的另一种技术, 采用偏振位移干涉条纹。在通过系统之后, P_1 和 P_2 的零级在 180° 偏振。对于 P_2 同 P_1 相比, 产生了一个有效半周期干涉条纹的位移。 P_1 和 P_2 的偏码像可以顺序或同时记录在输出面中。胶片显影之后, 应用图12的装置作光学处理, 产生差别信息(取自文献21)

自成 0° 或 90° 的线性偏振光所照明。在通过 Ronchi 光栅和偏振空间滤波器〔由三片偏振器（其指向如图17所示）所组成〕之后， P_1 和 P_2 的零级变为在 $+45^\circ$ 处偏振，对于 P_1 的较高级次在 -45° 变为偏振的，对于 P_2 的较高级次在 $+135^\circ$ 处偏振。在通过偏振器 4 之后，对于 P_1 和 P_2 的零级加上对于 P_1 的较高级次在 0° 处偏振。然而，对于 P_2 的较高级次在 180° 处偏振〔实验上，如果仅允许二个光栅级次（即 $m=0$ 和 $+1$ ）通过偏振空间滤波器，那么将会获得较好的结果。〕在输出平面处，它们重迭，并且以稍微不同的角度入射，得出干涉倾斜条纹，即获得所希望的交错偏码像，原因是 P_1 的条纹图形同 P_2 的条纹图形相比而位移了半个周期。〔因为薄片偏振器的不平度，把偏振空间滤波器嵌入液体门中也是所期望的〕正如由图17可以看到的，这个技术具有能够同时观察 P_1 和 P_2 的优点，允许两个透明片的实时配准。因此，这个方法可以是一种同时曝光（三阶段）技术。在这种情况下，和用 Ronchi 光栅同时曝光技术一样，如果照明 P_1 和 P_2 的光源是彼此非相干的，那么导致强度相减；如果光源是相干的，那么导致偏振相减（这样一来，对于 P_1 和 P_2 需要液体门，这些东西，一般地是不期望的）。这个技术也服从于四阶段（而不是五阶段）双曝光操作（它总是导致强度相减），它不需要在两次曝光中间移动编码机构。对于所有这些变化，对于记录/编码阶段可以采用一个白光扩展光源。

C. 随机漫射板编码

另一种编码方法是应用如同毛玻璃板那样的随机漫射板。和用 Ronchi 光栅一样，对于编码阶段，漫射板可直接地放到紧挨摄影胶片的地方。在第二次编码阶段之前，把漫射板（或摄影胶片）移动某一距离 δ 。这里 δ 可以看作为对于某个空间频率的半个周期，因为漫射板是由大量的空间频率组成的。在胶片显影和编码像在光学处理器装置中适

当空间滤波之后，两个像间的差别就可以获得。可以看到： δ 可以在很大范围内取值，因此它不象位移 Ronchi 光栅那样非要移动半个刻线，其位移精度要求不高。如果漫射板直接放在胶片处，那么，可以用白光扩展光源来编码和记录。

有意义的是，通过增加曝光次数（这里在两次曝光之间要移动漫射板，而且每次曝光是预先规定的不同时间），可以提高信噪比，因而对空间滤波要求就要降低。另一方面，如果使用两次以上的曝光，当然，那么随机漫射板处理就由五步处理到 N 步处理，（ $N > 5$ ），在某些情况中，这是不希望的。

IV. 正—负片迭加方法

A. 照像方法

这个方法分三阶段的。前两阶段是待相减的一个透明片（比如说 P_1 ）的一个负片 \bar{P}_1 的曝光与显影。（把另一个透明片弄成正片）第三步是 \bar{P}_1 和 P_2 迭加，而用非相干的光实时地观察它们。如果在曝光和显影 P_1 ， \bar{P}_1 和 P_2 的所有步骤中都十分小心地进行，以便应用 Hurter-Driffield 曲线（ $H-D$ 曲线）的线性部分（带有频率 γ ），那么两个透明片的强度透过 $\bar{P}_1(x, y)$ 和 $P_2(x, y)$ 将对应于由两个原来景物来的曝光 $E_1(x, y)$ 和 $E_2(x, y)$ ； $\bar{P}_1 = C_1 E_1^{-\gamma}$ 和 $P_2 = C_2 E_2^\gamma$ 这里 C_1 和 C_2 是常数。

如果 \bar{P}_1 和 P_2 迭加，即彼此直接接近放置，那么其结果不是真正的相减而是 \bar{P}_1 和 P_2 的相乘。这样一来，输出强度透过是 $\bar{P}_1 P_2 = C_1 C_2 (E_1/E_2)^\gamma$ ，这实际上是 E_1 和 E_2 的相除。仅在特殊情况中，这里 P_1 和 P_2 是二元的（即透明或者不透明没有灰色影调），才会出现真正的相减。如果两个透明片是相同的，那么 $\bar{P}_1 P_2 = C_1 C_2$ ，是一个常数均匀强度。在 $E_1(x, y)$ 不等于 $E_2(x, y)$ 的地方，两个景物之间的差别将导致非恒定的输出强度分布，这样一来，允许探测两个

景物间的差别，不需要液体门。

B. 电—光晶体方法³⁷

首先对电光晶体的运算给出一个简单的叙述是有的，象 Itek PROM（它是用于 Pockels 读出光学存储的缩写）就作为一种光存储介质。象硫化锌[Zinc sulfide(ZnS)]或 Bismuth silicon oxide($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$) 那样的晶体是电光的和光导的。这样，当电压加到晶体上，并且一光束（紫外或兰光）入射到它上面时，电压将同强度 $I(x, y)$ 成比例衰减。当 PROM 在交叉的偏振器之间通过应用红光读出（这里光电导大约为兰光的 1/1000）时，强度 $C, I(x, y)$ (C 为常数) 将是明显的，包括灰色等级，即某些区域将较暗或较亮，这取决于 $I(x, y)$ 的那些区域是暗的或亮的。这样，事实上，具有强度 $I(x, y)$ 的象可以用电压 $V(x, y)$ 存储在晶体中直至读出，通过反向电压，就可以很容易地获得 $I(x, y)$ 的负值。（旋转偏振器 90° 也可产生的同样结果）这个过程叫做“对比颠倒”。

为了图象相减，PROM 可以以同样方式用作为胶片，可以把 P_1 的正像存储（用兰光）在 PROM 中，经过对比颠倒之后，（它

可在毫秒内定成）将得到 P_1 的负片。当 P_2 的像通过 PROM 时（用红光），将得出 \bar{P}_1 和 P_2 的乘积。这样，这种应用 PROM 方法也是分三阶段的方法。

有应用 PROM 的四阶段方法，它导致 P_1 和 P_2 的真正的（强度）相减，而不是它们的乘积。通过在 PROM 上记录 P_1 ，完全对比颠倒之后，在 PROM 上记录 P_2 （所有的均可用兰光），而后用均匀光束（用红光）读出 PROM，则输出将是 $|P_1 - P_2|$ （乘以一个常数）。这是下面事实的结果， P_1 和 P_2 的存储以电压形式穿过出现的： $P_1(x, y)$ 记录 $C_1V_1(x, y)$ ； P_1 的负值存储为 $-C_1V_1(x, y)$ ； $P_2(x, y)$ 存储为 $C_1V_2(x, y)$ 。加在晶体上的电压为最后二者之和，即， $C_1(-V_2 + V_2)$ 。这样，当读出时，获得 P_1 和 P_2 的差（的绝对值）。上面叙述的应用电光晶体的两种方法，对于 P_1 和 P_2 均不用液体门。

应指出：用电—光晶体来记录象（或傅里叶变换）也可用于本文讨论的许多其它图象相减技术中。

译自“Optical Engineering” Vol14,
No5, 1975. p.436