

# 用于差别探测的摄影图象的实时光学相减

本文叙述的干涉计量技术允许二张输入透明照片实时光学图象相减而无需中间处理过程（例如，全息图或接触印制透明片）。这些干涉计量技术允许采用白光光源以及扩展光源，小型的输入准直光学系统和对波前质量有很低要求的光学元件。用地球资源卫星（现称：NASALANDSAT，以前称 ERTS）照片所做的试验结果也提供了。

## 绪 言

本文叙述摄影图象实时光学相减的新技术<sup>[1]</sup>。这项工作的主要目的是发展差别探测的能力。对于这种工艺有许多应用，包括地球资源研究，气象学，自动监视以及检查，图象识别，城市发展研究和带宽压缩。一般来说，有几种方法获得光学图象相减。其中有干涉计量和全息方法，编码方法以及正一负片重迭方法。在其它地方<sup>[2]</sup>已经有这些技术的评论。本文叙述的技术是干涉计量的方法。

## 三角干涉仪方法

图 1 表示为差别探测所采用的摄影图象实时光学相减的一种技术。三角干涉仪（包括二个反射镜和一个分束器）用来使照明摄影透明照片  $P_1$  和  $P_2$  的光束重迭。图 1 表示用输出光学系统成象的三个输出光束（实际上是四束有两束重迭了），如果  $P_1$  和  $P_2$  的振幅透过分别是  $t_1(x, y)$  和  $t_2(x, y)$ ，那么输出  $I_3$  是

$$I_3 = C \{ t_1^2 + t_2^2 - 2t_1 t_2 \cos[(2\pi/\lambda)OPD] \} \quad (1)$$

其中  $C$  是比例常数， $OPD$  是带有  $P_1$  和  $P_2$  信息的二个光束之间的任何光程差。这个等式假设分光器等分这个光束。等式 (1) 的第

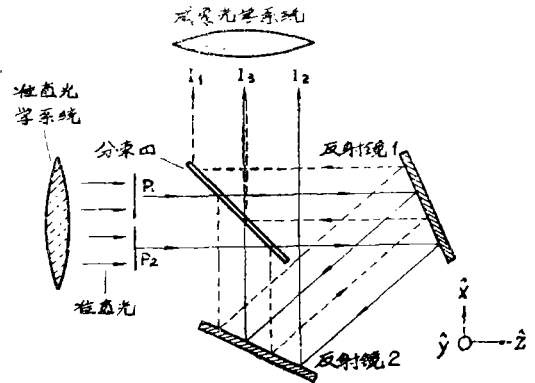


图 1 取得二张摄影透明照片 ( $P_1$  和  $P_2$ ) 的实时迭加和相减并能采用宽带或单色的以及非相干或相干光源的三角干涉仪。输出  $I_3$  和  $I_2$  分别对应于  $P_1$  和  $P_2$ ； $P_1$  和  $P_2$  的差别在  $I_1$  中提供

三项前边的负是由于一个  $\pi$  弧度的附加纯相位变化所致，这个相位变化是  $P_2$  光束（相对于  $P_1$  光束）由分光器反射造成的。当光程差等于  $m\lambda$  时（ $m$  是整数），产生相抵消的干涉，而等式 (1) 可以写成为：

$$I_3 = C |t_1 - t_2|^2 \quad (2)$$

在这里通过应用液体门支架消除了透明照片  $P_1$  和  $P_2$  所引起的任何可能的相位变化。如果  $P_1$  和  $P_2$  精确重迭（即获得精确图象配准），将出现图象相减 [如果  $OPD = (2m + 1)\lambda/2$ ，则可以获得图象相加]。

三角干涉仪能产生剪切，即，通过移动或旋转反射镜或分光器，可使一光束相对于另一光束平行移动了。这样，可用两种方法

获得  $P_1$  和  $P_2$  的横向重迭 (即  $X$  方向重迭): (a) 移动反射镜 1 (或者等价地移动反射镜 2) 或者 (b) 绕着  $y$  轴旋转反射镜 1 (或反射镜 2) 一个适当的是, 比如说  $\theta$ 。通过使一个反射镜围绕和  $\theta$  角的旋转轴相垂直的轴旋转一个适当的量。比如说  $\phi$ , 可以获得垂直重迭 (也就是  $y$  方向重迭)。(用分光器也能获得横向和垂直重迭, 但在我们的实验中, 移动一个反射镜是比较方便的。) 一个反射镜的旋转将引起光程差的变化。这样, 调正  $\theta$  将得到双重作用—迭加和相减。所要求的其它仅有的调正是处在  $P_1$ - $P_2$  摄影平面处的照片背面的角度配装, (比如说  $\psi$  调正) 以及或许是倾斜调正, 以便使  $P_1$  和  $P_2$  彼此共线并且使它们垂直于入射的准直光束。应用  $Z$  (或  $\theta$ ) 和  $\phi$  得到的迭加以及应用  $\theta$  得到的相减是实时的程序。在改变  $Z$ 、 $\phi$  和  $\theta$  (也可能改变  $\psi$  和倾斜) 的同时操作者观察输出  $I_3$  直到出现配准和相减时为止。

为了从  $P_1$  和  $P_2$  的相减中获得有用的结果,  $P_1$  和  $P_2$  同时聚焦在输出平面上是很必要的。只要调正反射镜和分束器使两束光入射到二个反射镜上的角度相同。那么  $P_1$  和  $P_2$  的光程长度也就会相等。如果一个反射镜具有某一数量  $\Delta\theta$  的对准误差, 那么引起的光程差只是  $XP\Delta\theta$  的数量级, 其中  $XP$  是每个透明照片的宽度。在试验上, 把入射到分光器和每个反射镜上的角度分别选择为  $45^\circ$  和  $22.5^\circ$  是方便的。因此十分明了的是, 通过采用逆反射技术可以非常精确地调整这个系统, 使任何剩余的光程差  $OPD$  十分地小或者至少比输出成象透镜的焦深要小。完成了这个初步调正之后, 为了获得相减, 操作者就可逆增地旋转使其光程差  $OPD = m\lambda$ 。

还有加给该系统上的另一种实时能力。通过在  $P_1$  或  $P_2$  的前面放一适当的中性密度滤光片 (它可以是  $N$ 、 $D = 0, 0$ ), 以使二张照片的平均密度等级能够相匹配或者使其相等。用这种方法, 可以补偿不同的太阳照射等级或二张透明照片的不同的照相处理。

这样, 就消除了在两次拍照之间由实际差别所引起的, 但不是由于真实的景物之间的差别所引起的大量假噪音。

如果需要的话, 可以拍摄  $I_3$  (以及  $I_1$ , 和  $I_2$ , 它们也出现在输出平面中) 的硬拷贝输出照片。由于在  $I_3$  中出现的  $P_1$  和  $P_2$  之间的差别对于观察者来说是亮的, 在  $I_3$  的短曝光 (正片) 照片中,  $P_1$  和  $P_2$  相同的区域 (即没有差别的部分) 是完全黑暗的, 部分相似的区域将出现各种灰色阴影, 而非常不同的区域将呈现很亮。如果用长曝光摄取一照片, 相同的部分就会模糊, 这样就有助于观察者确定相对于常数背景的任何变化的实际位置 (这些地方看来是很亮的)。换句话说, 采用可变曝光的摄影硬拷贝输出将能够提供可变化的密度等级切片 (slicing)。

现在回到等式 (2),  $I_3$  的表达式也能写为:

$$I_3 = C |(I_1)^{1/2} - (I_2)^{1/2}|^2 \quad (3)$$

假设和  $I_1 = t_1^2$  和  $I_2 = t_2^2$ 。对于应用来说, 在这里确实有要探测的差别存在 (比如, 由于时间的变化或者由于多光谱数据之间的差别), 等式 (1) — (3) 所描写的输出  $I_3$  的确能提供变化有力证据。在实验结果中, Itek 的差别照片和地球资源卫星 (LANDSAT) 图象的差别照片是等式 (1) — (3) 的体现。) 在某些应用中, 还希望知道除了确证有任何变化存在以外的差别  $I_3 = C |I_1 - I_2|$ 。借助于中间步骤可以获得这个结果; 然而排除了实时运算。一个程序是把  $P_1$  和  $P_2$  单独地记录在另一个透明照片上, 然后使每一个进行接触印制, 以便使经过这二步以后, 转换处理的纯的胶片伽玛值 (gamma) 是一 2 (这些可以通过直接记录在伽玛值 (gamma) 为一 2 的正片上来组合)。当这些新透明照片相减时, 输出是  $I_3 = C |t_1^2 - t_2^2|^2$  而不是等式 (2)。通过把  $I_3$  记录在伽玛 (gamma) 值为  $-\frac{1}{2}$  的胶片上, 得到的结果是  $I_3 = C |t_1^2 - t_2^2|$  或  $I_3 = C |I_1 - I_2|$ 。

## 平面平行板干涉仪方法

采用平面平行玻璃板也能完成摄影图象实时光学相减,如图2所示。这种方法比较简单(在采用光学元件的数量方面),但是要求某些附加的考虑。照明 $P_1$ 的光束进入剪切板,而照明 $P_2$ 的光束却没有。这样, $P_1$ 光束将产生一些象散和球差。用下面的方法可以补偿像散,(a)在 $P_1$ 光束中放一块具有等厚 $T$ 的平板,使它和第一块板有相等的倾斜,但其轴线与第一块板的轴线成 $90^\circ$ ,或者(b)在 $P_1$ 光束中放过一个具有适当楔角的楔板。然而由第一块板引起的任何球差则因为加了第二个板而变大了。其它的考虑还包括用成像透镜把 $P_1$ 和 $P_2$ 聚焦在同一输出象面上。为了使 $P_1$ 和 $P_2$ 处在离开透镜的相同的共轭距离上,必须使 $P_1$ 向成像透镜移近某一数量 $Z_f$ 。根据简单的几何证明,所需要的数值 $Z_f$ 是 $X_p/\tan\theta$ (或者为 $2X_p/\tan\theta$ ,假如采用上述象散补偿板的话)。当 $\theta = 45^\circ$

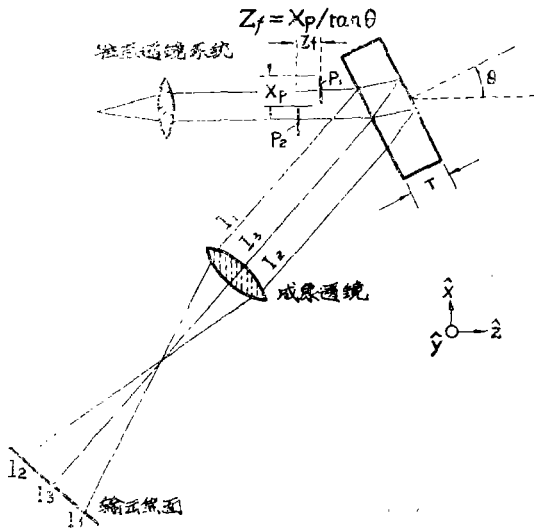


图2 只采用单色相干光源的两张透明照片实时时加和相减的单剪切板干涉仪

时,(在此处剪切大约为最大值),则 $Z_f = X_p$ (或 $2X_p$ )。例如,如果希望把 $P_1$ 和 $P_2$ 放在同一的液体中时(这样一来, $P_1$ 和 $P_2$ 并处于同一平面),那么必须在 $P_2$ 光束中放一分离板以补偿聚焦。这个板(折射率为 $n$ )将安装成 $\theta = 0^\circ$ (垂直入射);根据几何论证表明:这个板要求厚度 $T = X_p n / (n - 1) \tan\theta$ [或 $2X_p n / (n - 1) \tan\theta$ ]以便使 $P_2$ 的路径缩小一个适当数量。尽管这样将增加 $P_2$ 照片的球差,但是它却能抵销 $P_1$ 光束的某些球差。

应该指出:如同剪切板一样,在图1的三角干涉仪中的分光器确实引进某些象散。然而,剪切板厚度必须足够的大,才能使 $P_1$ 和 $P_2$ 重迭,也就是说, $T$ 必须大得足以产生充分的剪切量。例如, $\theta = 45^\circ$ 而玻璃板折射率为 $n = 1.5$ , $T$ 就必须大于 $1.3X_p$ ,这是大照片的一个问题(然而相减之前,可以应用辅助透镜系统来实时地缩小摄影图象)。另一方面,三角干涉仪中的分光器在物理上尽可能的薄,在保持高质量光学图形的前提下,仅受机械强度的限制。这样就使剪切和重迭仅取决于二个反射镜相对于分光器的间隔和角度方位。此外,分光器对 $P_1$ 和 $P_2$ 光束的光程来说成为相等的分布。因此只要校正的存在于一个光束的象散,则另一个光束的象散也同时得到校正。

## 改进

对图1有一个改进,它大大改善了三角干涉仪技术的操作。图3表示采用输入光学系统代替图1的准直光学系统的另一个三角干涉仪。由于二个三角干涉仪作用都是剪切输入光束(如图3上部所示的),然后使其再次重迭,因此输出图象 $I_3$ 是二个接近的等同光束干涉的结果(排除 $P_1$ 和 $P_2$ 的作用)。由于二个干涉光束的输入波前偏差将相同,而且在二个光束重迭时能抵消,因此,可以采用相当低的质量的输入准直光学系统。这样

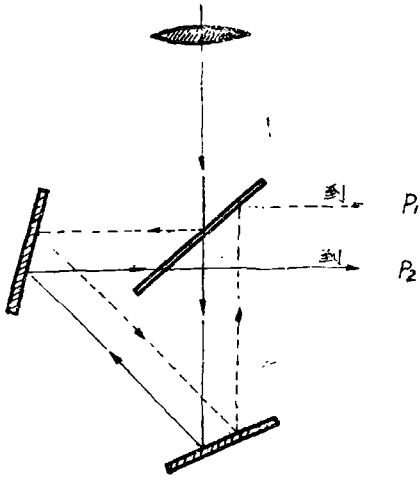


图3 起到代替图1准直光学系统作用的三角干涉仪，它允许采用具有较低的波前要求的较小输入准直光学系统以及扩展光源

也就降低了对反射镜和分光器的光学质量的整个要求。此外，由于输入光束被第一个三角干涉仪剪切成二束，(每个图片使用一束)因此图3的准直器透镜的直径仅需要一张透明照片那么大。这样就直接改进了尺寸，重量，制作方便，也降低了价格。最后，引进另一个三角干涉仪允许采用扩展光源以及非相干白光光源。[用一个三角干涉仪，可以用一个白光光源，但不是用一扩展光源来相减，因为对于  $P_1$  和  $P_2$  光束的几何路径使其相等之后。在  $P_2$  光束中。有由分光器反射所引起的宽带的  $\pi$  弧度相位移，如等式1所示。]实际上，宽带光谱滤光片同白光光源并用可能是比较理想的。使用非相干光源的主要优点是消除斑点噪音和经常伴随激光照明所带来的附加干涉效应。扩展光源的主要优点是对系统输入照明的强度较大。

图4是图2的改进，并且它提供了类似于图3改进图1的优点，也就是说，采用具有较低的波前要求的较小的输入准直光学系统以及使用扩展光源。如果一个板的后表面镀上比板的折射率高的膜层，那么也可采用非相干白光光源，这样可使  $P_1$  (或者  $P_2$ ，这取

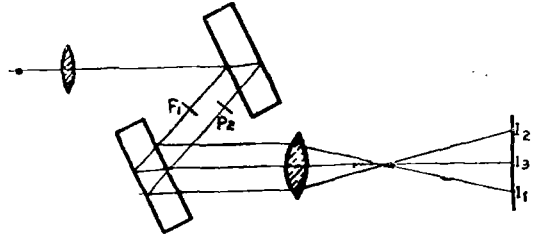


图4 双剪切板干涉仪，它是图2的改进，这种改进类似于图3对图1所提供的改进。包括采用宽带扩展光源。

决于哪块板被镀膜，保持附加的宽带的  $\pi$  弧度相位位移。(实际上，如果没有采用补偿板，由于光程差永远不会是零，因此图2的装置既不能采用非相干光源也不能采用扩展光源)。

## 实验结果

图5表示采用单个平面平行板横向剪切干涉仪光学图象相减的结果。两张输入摄影透明片是字母 *e* 和名称 Itek，如图中上部和下部所示。图5的中间表示 *e* 从 Itek 中被减去。采用氦氖激光器 ( $\lambda = 0.6328\mu\text{m}$ ) 作为光源。

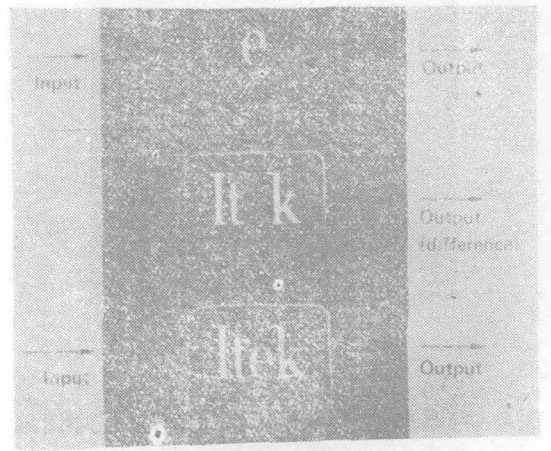
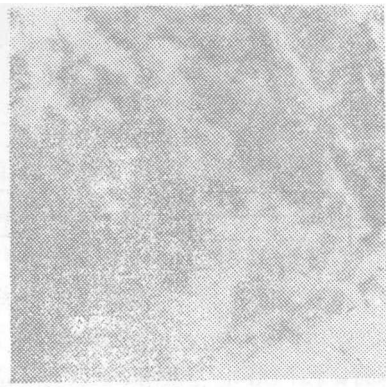


图5 采用单平面平行板干涉仪的二张透明照片的(字母 *e* 和名称 Itek)实时光学图象相减的结果



$I_1(P_1)$



$I_3(\text{差别})$



$I_2(P_2)$

图7 与图6一样的地球资源卫星照片的光学图象相减(中间的图)的结果,但是在透明照片的不同的平均密度等级加以实时补偿(在相减过程期间)之后进行相减的。文章中详细叙述了这个结果。

〔波段6(0.7—0.8微米波长范围)〕。在  $I_3$  中, 差别表示为各种灰色阴影—差异越大, 出现的越亮。在  $I_3$  中的暗区是没有变化的区域。在  $I_3$  照片左下角, 接近纯白色是明显的。这是由于在试验板 (breadboard) 系统中所使用的氦氖激光器光源相干性引起的附加的干涉效应。对试验板系统来说, 可采用扩展汞光源或带有宽带光谱滤光片的扩展白光光源, 因而这种效应在任何地方都几乎不明了。在  $P_2$  中存在的, 而在  $P_1$  中却没有提供的新的冰和新降的雪, 这在  $I_3$  的左上角是特别明显的。用试验板处理器使  $P_1$  和  $P_2$  的十字线相加有助于照片配准; 应注意他们是用光学方法减出  $I_3$  照片的。最后, 尽管在这些再现中可能不是那么明显, 但是  $P_1$  的平均密度等级是大于  $P_2$  的。因而虽然  $I_3$  照片表示出  $P_1$  和  $P_2$  照片之间真实的差别, 但是它并没有表示出  $P_1$  和  $P_2$  景色的相应的辐射之间的差别。这在  $I_3$  的右下角是特别明显的, 在那里  $P_1$  和  $P_2$  照片的差别是明显的, 但在实际上在那里并没有景色差别存在。这种情况在校正了的图7中表示。

图7与图6的  $P_1$  和  $P_2$  照片一样, 但现在  $I_3$  照片是  $P_1$  和  $P_2$  之间的实际景色差别的较好的表达。这里由于采用中性密度滤光片, 如同直观测定的一样, 而使  $P_1$  和  $P_2$  平均密度等级大致平衡。因此, 注意到:  $I_3$  的右下角现在几乎完全是黑的。同时, 增强了实际的景色差别, 或至少明显得多了, 例如, 在  $I_3$  的左上角中冰和降雪的变化。由于改进了信噪比 (SNR) 而使小面积变化也变得比较明显了。应该指出的是, 在右下角中干涉噪音 (由于采用激光照明而引起的) 也有相当大的降低; 如上所述, 这个噪音由于采用汞或白光光源而不存在。

## 结 论

上述的方法, (如图5—7提供的实验结果

注: 图相片不清楚图6省略

# 关于环境条件对航空摄影机畸变的影响

## 导 言

航空摄影机通常在实验室中，既在规定的条件下校准。温度规定为 $20^{\circ}\text{C}$ ；对于平均海平面高度位置，气压相应为0米和600米，在700—760千之间。由于压力和温度随着飞行高度急剧减弱，故此航空摄影条件中有一部分产生强烈的差异而不同于实验条件。随着温度和压力航空摄影物镜的几何性质（摄影机常数和畸变）产生变化。这种变化可以通过计算的方法加以探索。这就必须知道压力和温度。可是压力和温度不仅依赖于飞行高度，而且也依赖于怎样把航空摄影机安置在飞机中的方式。下面首先谈到的是主要的安置方式，其后再探索这种规定的的环境条件对蔡司一摄影机畸变的影响。

很早就曾叙述过“有关飞机密封玻璃对航空摄影机畸变的影响”。下面的研究超越了这篇文章的地方是，除了密封环境的影响之所证明的）为照片之间差别的存在和位置的实时探测提供了新的能力。这种技术的某些优点列表如下：

- 摄影图象的实时相减；
- 光学透过的真实相减（不是相乘）；
- 平行光信息处理器；
- 无连续扫描；
- 不需要计算机；
- 速度快；
- 利用原始摄影透明照片；
- 无中间摄影处理程序（例如，干涉图或接触印制的透明照片）；
- 同时调正配准和相减；
- 补偿透明照片的不同平均密度等级（由

外，同时还研究了航空摄影物镜的影响。既总的光学摄影系统。

## 一、摄影飞机的航空摄影装置

航空摄影机的装置主要受飞机种类与所企图飞行的高度的影响。值得注意的是，必须从4000米起为飞行员准备氧气，而从8000米起应该具有压力舱。一般说来，装置的区别在于受保护装置和不受保护装置。而不受保护装置的区别应该是附加的加热装置和没有附加的加热装置。

### 1. 受保护装置

在受保护装置中，位于摄影机的前面有一个较高质量的光学玻璃板。这样外界大气便与船舱隔绝。根据飞机制造厂的报告，船舱压力应调整在与2千米飞行高度相适应的不同的太阳照明或由不同摄影处理引起的）；

直观或摄影硬拷贝输出；

采用非相干光源（仅仅三角干涉仪）

对改进型来说（采用一个附加三角干涉仪或另一块剪切板），对于这两种方法包含下面附加能力。

采用非相干光源，

采用扩展光源，

小的输入光学系统（准直器直径不需要超过一张透明照片的宽度），

处理器技术大大降低了系统的光学元件所需要的波前质量。

译自：“Applied Optics”Vol.15 No.4  
p871—876. 1976.