

利用密着网屏实现光学图象相减

赵达尊*

(北京工业学院光学仪器系)

蒋建国 刘华光

(美国阿拉巴马大学电机系)

提 要

本文描述了一种新的图象相减技术及其实验演示。利用一维密着网屏对输入图象进行光学脉宽调制,得到一组半色调透明片。通过正、负半色调透明片的重迭,实现图象相减,定性和定量的实验结果证实了本方法的有效性。本方法的特点是,不需要高级的设备以及输出量可以直接正比于所求的差值,并且差值的正、负号可以确定。

一、引 言

光学图象相减有多种用途。例如,在医疗诊断方面,可用来突出血管造型的影象,减弱骨骼阴影等干扰^[1];在生产集成电路时,可用来检验产品的缺陷^[2];在图象传送方面可用来压缩频带宽度等等。

艾伯索曾总结了一些用光学手段进行图象相减的方法^[3]。他提到的方法有全息术,干涉术,编码术和正、负底片相重迭等。不过它们中大多数需要使用特殊的光源(如激光)和光学信息处理系统等设备,而且那些利用干涉原理进行相减的方法,只能得到差值的平方,从而失去了差值的正、负号。有些非相干相减方法能得到差值的正、负号,但由于其输出往往迭加在一个直流分量上^[4],使判读差值时不够直观。有的方法,例如正、负底片重迭法,得到的结果甚至不是两图象透射率的差^[1, 3]。虽然不久前,我们提出了一种新的图象相减技术^[5],这个技术首先利用密着网屏对所需处理的图象进行光学脉冲宽度(简称“脉宽”)调制,得到只有两种透射率值的透明片,称为半色调负片和正片;然后通过正、负半色调片的重迭,获得两图象相减的输出。

这个方法有不少优点。例如所需要的设备比较简单,除了一片一维的密着网屏外,只要普通的黑白印相设备。对光源的要求只要均匀,而不论其单色性如何或相干性如何。另外,该方法的输出量是直接可测的光强透射率分布;通过选择不同透射率分布的密着网屏,既可以得到正比于原图象透射率差值的输出,又可以得到原图象透射率函数(如对数、指数等)的差值,所有差值的正、负号都是可以判断的。

收稿日期: 1981年8月28日,收到修改稿日期: 1982年6月14日

* 现为美国阿拉巴马大学电机系访问学者

二、原 理

本方法的第一步是对两幅待相减的图象 A 和 B 进行光学脉宽调制^[6,7]。假定 A 和 B 是两张透明片,其上的直角坐标为 (x, y) , 光强透射率分别为 $T_A(x, y)$ 和 $T_B(x, y)$ 。将 A 和 B 分别经过同一维密着网屏 CS 密接复印到高反衬度感光片上, 即得到它们的脉宽调制图片。以后分别称之为 A 和 B 的半色调负片, 并用 AN, BN 表示。图 1(a)画出了在 CS 的一个空间周期范围 X 内的 $T_A(x, y)$ (假定它在 X 内近似为一常数); 图 1(b)为 CS 的透射率分布; 图 1(c)表示对感光片的曝光量分布以及图 1(d)为 AN 的透射率分布 T_{AN} 。图中 T_M 和 T_m 分别表示 AN 中的最大和最小值, W_{AN} 为相应 X 范围内 AN 的“黑线条”宽度。一般地说, W_{AN} 与 T_A 的关系可以写成:

$$W_{AN}/X = f(T_A), \quad (1)$$

其中函数 $f(T)$ 的形式取决于 CS 的透射率分布, 感光片的特性以及曝光、显影等过程。

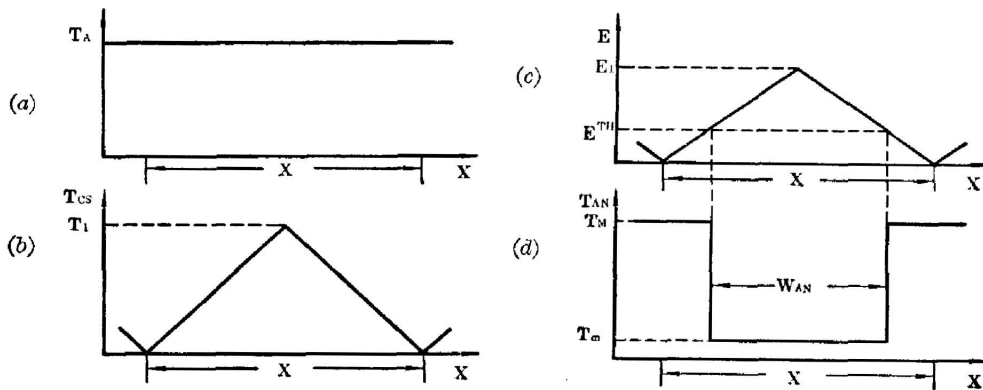


图 1 利用密着网屏和高反衬度底片的印相过程——光学脉宽调制

Fig. 1 Contact printing process through a contact screen onto a high-gamma film—optical pulse—width modulation

应该指出,在制作 BN 时,除了需保持与制作 AN 时相同的条件外,还应使 CS 相对于 A, B 上的坐标系具有同样的相对位置。这时有

$$W_{BN}/X = f(T_B), \quad (2)$$

其中 W_{BN} 是 BN 上“黑线条”的宽度。在得到 AN 和 BN 后,还需制备 A 和 B 的半色调正片 AP 和 BP 。它们是由分别将 AN 和 BN 复印到另两张高反衬度感光片上得到的。在适当条件下, AP 和 BP 上的“亮线条”宽度 W_{AP} 和 W_{BP} 应分别等于 W_{AN} 和 W_{BN} , 即

$$W_{AP} = W_{AN} = W_A, \quad W_{BP} = W_{BN} = W_B. \quad (3)$$

假定 AN, BN, AP 和 BP 上的 T_M 及 T_m 值均相同, 它们的透射率 T_{AN}, T_{BN}, T_{AP} 和 T_{BP} 在某一典型 X 范围内可由图 2 表示。

减法操作需分两个步骤进行。一个步骤获得 $T_A > T_B$ 处的输出(简称 $A-B$ 操作), 另一个步骤获得 $T_A < T_B$ 处的输出(简称 $B-A$ 操作)。在 $P_t(A-B)$ 操作中, 将 AP 和 BN 相重叠并进行坐标对准。图 3(a) 表示在 $T_A > T_B$ 区域中一个 X 范围内对准后的 AP 和 BN 透

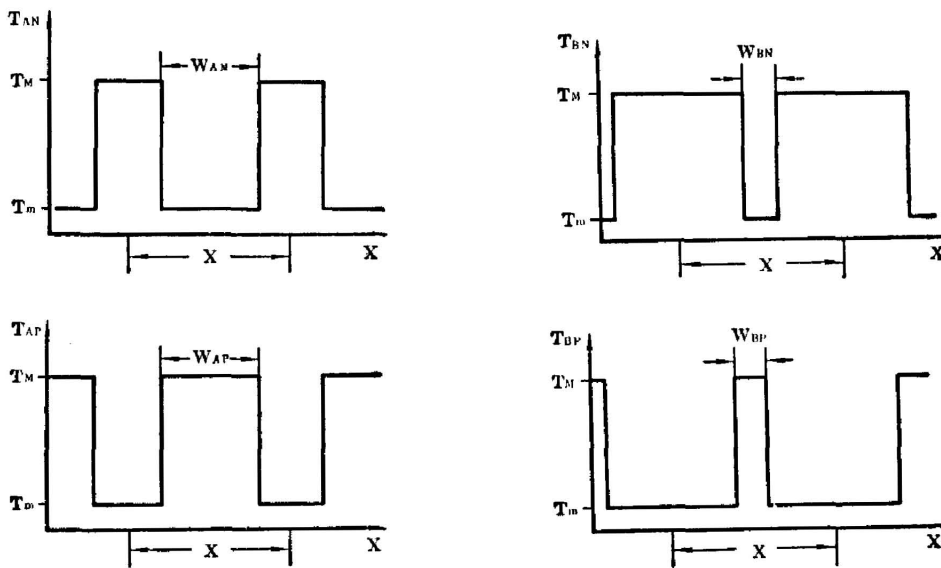


图 2 在密着网屏的一个周期范围内, 半色调负片和正片的透射率分布
 Fig. 2 The transmittance profiles of the halftone negatives and the halftone positives within the region of one unit cell of the contact screen

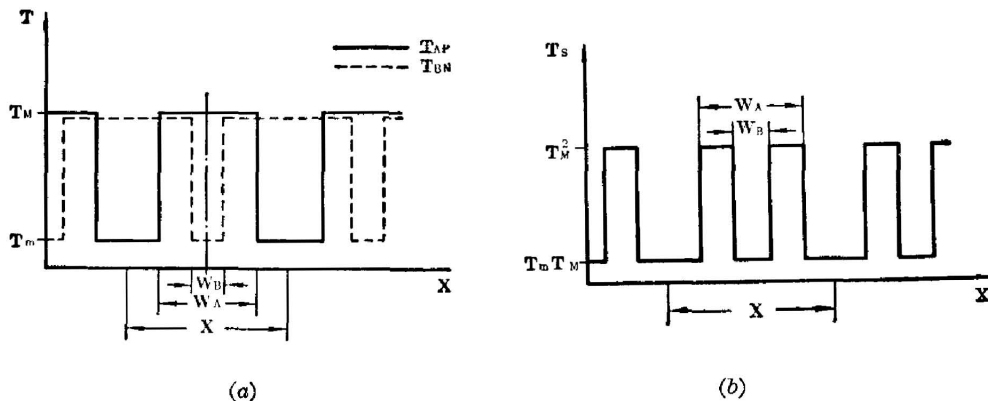


图 3
 (a) 减法操作中 AP 和 BN 的对准; (b) 对准后的合成透射率分布

Fig. 3
 (a) The alignment for AP and BN at the subtracting procedure;
 (b) The resultant transmittance after aligning

射率分布。图 3(b) 表示该范围内 AP 和 BN 重迭时的合成透射率分布 T_S 。由图可知, 该处的局部平均合成透射率 \bar{T}_S 为

$$\begin{aligned} \bar{T}_S &= (1/X) [T_M^2(W_A - W_B) + T_M T_m(X - W_A + W_B)] \\ &= T_M \{ (T_M - T_m) [(W_A - W_B)/X + T_m] \}. \end{aligned} \quad (4)$$

将(1)式和(2)式代入(4)式, 得到

$$\bar{T}_S = T_M \{ (T_M - T_m) [f(T_A) - f(T_B)] + T_m \}. \quad (5)$$

由于 \bar{T}_S , T_M , T_m 均为可测量, 所以差值 $[f(T_A) - f(T_B)]$ 可由式(5)得到。注意该差值正比于 \bar{T}_S 。在(A-B)操作中, 对于 $T_A \leq T_B$ 的那些地区, 由于 $W_A \leq W_B$ (注意, W 虽然不一定

正比于 T , 但必定是 T 的单调非降函数), \bar{T}_s 应不大于 T_M 或 T_m 。通常 $T_m < 0.01$, 而 $0.85 \leq T_M < 1$, 所以 $\bar{T}_s < 0.01$, 所以在这些地区应接近于不透光。这样, 在 $(A-B)$ 操作中的输出分布 (\bar{T}_s) 代表 $[f(T_A) - f(T_B)]$ 大于零部分的分布。

类似地, 在 $(B-A)$ 操作中, 将 AN 和 BP 重迭并对准, 得到 $T_A < T_B$ 处的输出 (局部平均透射率 $\bar{T}_{s'}$):

$$\bar{T}_{s'} = T_M \{ (T_M - T_m) [f(T_B) - f(T_A)] + T_m \}, \quad (6)$$

$\bar{T}_{s'}$ 正比于 $[f(T_A) - f(T_B)]$ 的负值。这时, 凡是在 $T_A > T_B$ 的地区, 输出基本为零。

总之, 差值 $[f(T_A) - f(T_B)]$ 可由 AP 和 BN 的重迭得到, $-[f(T_A) - f(T_B)]$ 可由 AN 和 BP 的重迭得到。注意到当 (5) 式和 (6) 式中 $|f(T_A) - f(T_B)|$ 不太小时, T_m 项相对其它各项可以忽略, 于是

$$\bar{T}_s \approx T_M^2 [f(T_A) - f(T_B)], \quad \bar{T}_{s'} \approx T_M^2 [f(T_B) - f(T_A)]. \quad (7)$$

如果密着网屏的设计使得 $f(T)$ 是 T 的线性函数^[6], 则 (7) 式可进一步简化为

$$T_A - T_B \approx C T_M^{-2} \bar{T}_s, \quad T_B - T_A \approx C T_M^{-2} \bar{T}_{s'}, \quad (8)$$

其中 C 是一个比例常数。这时输出直接正比于两输入透明片的透射率之差。

三、实 验

1. 定性实验

选择如图 4 所示的两幅透明片 A 和 B 作为待相减的图象。 A 和 B 的大部分景象相同, 其差别除了箭头所指的汽车 (A 中为甲车, B 中为乙车) 外, 尚有乙车边上的人以及楼房五楼左端的窗帘状态。

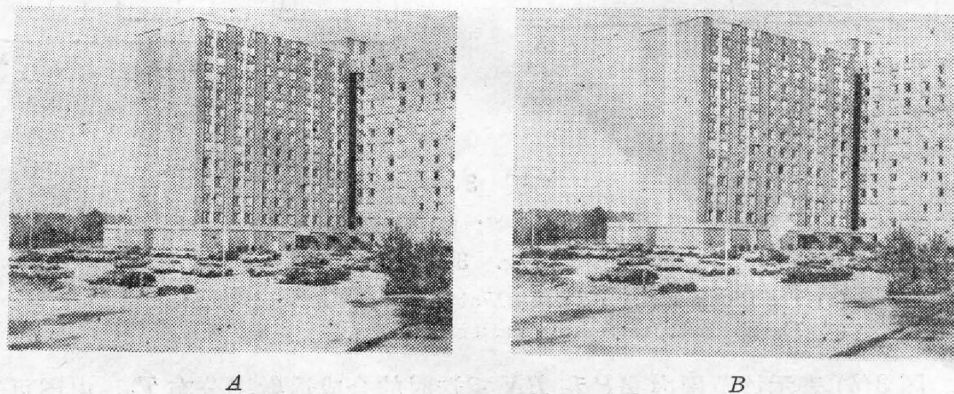


图 4 两个待相减图象的照片

Fig. 4 The photos of the two images to be subtracted from each other

A 和 B 的半色调正、负片 AN , AP , BN 和 BP 都用 Kodaklith Pan 2568 底片制作, 所用的一维密着网屏空间频率约为 6 lines/mm。在制作 AN 和 BN 时, 我们利用 A 和 B 的相同景象部分作为参考信号, 通过使它们相对于密着网屏的位置相同来保证 A 和 B 上的坐标系统与密着网屏具有同样的相对位置。

在 $(A-B)$ 操作中, 把 AP 和 BN 以乳胶面相对重迭, 并按以下步骤对准。首先, 将 A

和 B 上相同的景象对齐。这时,如果 AP 和 BN 上的两组调制线条不平行则会出现莫尔条纹。使 AP 相对于 BN 稍作转动,可使莫尔条纹消失,亦即使两组线条平行。然后,使 AP 相对于 BN 稍作平移,直到所有相同景象部分的透射率达到极小值(接近于零)。这时 AP 的“亮线”中央正好落在 BN 的“黑线”中央处(否则景象相同部分的透射率不会接近于零)对准便告完成,如图 3(a) 所示。对准后 AP 和 BN 的联合平均透射率正比于 $[f(T_A) - f(T_B)]$ 。图 5(a) 是该透射率分布的印相记录。相片上的黑斑指出了 $T_A > T_B$ 的地点(即一部分图象有差异的地方)。例如,甲车和乙车都部分出现在这相片上,甲车出现的部分是比它所遮住的背景较“亮”(即 A 片的透射率在此处比 B 片大)的地方,乙车出现的部分是比背景较“暗”的地方。另外,由于 B 中那个站在乙车边上的人的头发比其遮住的背景“黑”一些,所以也出现在 $(A-B)$ 的输出中。

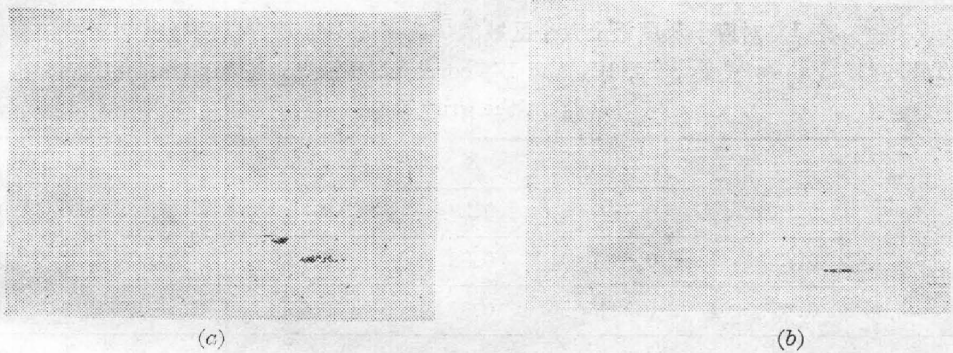


图 5

(a) 操作 $(A-B)$ 输出的照片记录; (b) 操作 $(B-A)$ 输出的照片记录

Fig. 5

(a) The photo of the output for $(A-B)$ operation;

(b) The photo of the output for $(B-A)$ operation

操作 $(B-A)$ 由对 AN 和 BP 的重迭和对准实现,其输出记录如图 5(b) 所示。其中的主要内容有: (1) 甲车的阴影; (2) 其头发出现在 $(A-B)$ 中的人物的白色短袖衬衫上; (3) 前述五楼左端的半个窗帘。在所有这些地方, B 片的透射率都大于 A 片的透射率。

图 5(a) 和 (b) 中隐约出现的相同部分的图象是由于多次印相过程, 对准误差和底片反衬度有限等因素所造成。

2. 定量实验

对于有图象相减方法的定量评价可按三个方面进行: (1) 测量半色调正、负片的调制线条宽度; (2) 确定 $f(T)$ 的函数形式; (3) 以实验验证 (4) 式或 (7) 式。

我们选取一块有 6 个不同灰度区域的灰度板作为输入(见图 6, 其中标号 1 至 6 代表 6 个区域), 通过这 6 个区域的互相间的相减来作定量验证。在实验中, 只要作出该灰度板的半色调负片和正片(使用与定性实验中相同的一维密着网屏和底片), 将正片的某个区域与负片的另一区域重迭并对准便可实现该两区域的相减。下面介绍上述三个方面的实验结果。

(1) 半色调负片的“黑”线宽度和半色调片的“亮”线宽度均可用两种方法测量: (a) 利用测微比长仪; (b) 通过测量半色调正、负片的平均透射率进行推算。根据图 2 这两种宽度和平均透射率的关系为(设 $T_m \approx 0$):

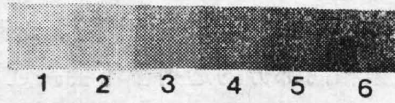


图 6 定量实验的输入——具有六个不同灰度区域的灰度板

Fig. 6 The inputs for quantitative experimental demonstration—a gray scale with six transmittance levels

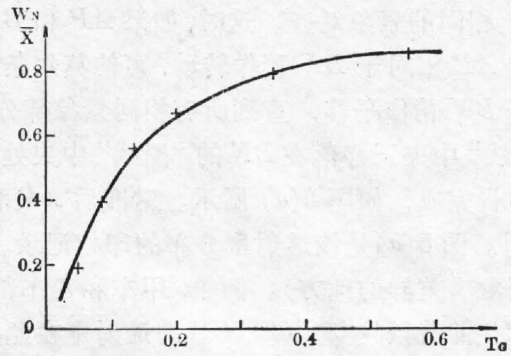


图 7 实验测得的 $f(T)-T$ 曲线形式

Fig. 7 The measured format of the function $f(T)$

表 1 对应于灰度板上六个区域的 \bar{T}_N 、 \bar{T}_P 、 W_N 和 W_P 的数据

Table 1. Values of \bar{T}_N , \bar{T}_P , W_N and W_P corresponding to the six transmittance levels on the gray scale

	1	2	3	4	5	6
\bar{T}_N	0.13	0.18	0.29	0.38	0.53	0.71
\bar{T}_P	0.73	0.68	0.58	0.48	0.33	0.15
W_N/X	0.85	0.79	0.67	0.56	0.40	0.19
W_P/X	0.84	0.78	0.67	0.55	0.38	0.17

$$\bar{T}_N \approx [(X - W_N)/X]T_M = [1 - (W_N/X)]T_M; \quad \bar{T}_P \approx W_P T_M / X, \quad (9)$$

其中 \bar{T}_N 和 \bar{T}_P 分别是 T_N 和 T_P 的局部平均透射率。

表 1 列出了在 6 个灰度区域中测得的 \bar{T}_N 和 \bar{T}_P 以及根据 (9) 式算得的 W_N/X 和 W_P/X (其中 T_M 测得为 0.87)。直接测量得到的 W_N/X 和 W_P/X 与表列数据十分接近, 偏差不得超过 0.01。此外, 由表中可见, 关于 $W_P/X = W_N/X$ 的假设在误差范围 0.02 之内成立。

(2) 函数 $f(T)$ 的形式可通过研究线宽 W/X 与灰度板光强透射率 T_G 之间的关系找到。图 7 是根据实测数据(图中以小“十”字表示)画出的曲线。显然, 在本实验所用的密着网屏情形下, $f(T)$ 不是 T 的线性函数。

(3) 公式 (4) 或 (7) 的定量验证。

公式 (4) 是本图象相减方法的主要依据。对它的验证并不复杂, 因为 \bar{T}_S 和 W/X 都可以直接并互相独立地测量。当 T_m 可以忽略时, (4) 式或 (7) 式都可以写成

$$\bar{T}_S / T_M^2 = (W_A/X) - (W_B/X). \quad (10)$$

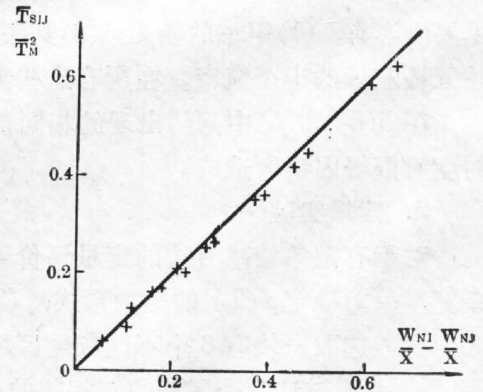


图 8 定量验证公式 (4) 的实验结果, 小“十”字代表实验数据, 实直线代表由公式算出的结果

Fig. 8 The comparison between experimental data (represented by small crosses) and the data calculated from Eq. 4 (solid straight line)

表 2 公式(4)的验证: $\bar{T}_{S_{ij}}/T_M^2$ 和 $(W_{N_i}/X) - (W_{N_j}/X)$ 的比较Table 2 The validity of Eq. 4: comparison between $\bar{T}_{S_{ij}}/T_M^2$ and $(W_{N_i}/X) - (W_{N_j}/X)$

(i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(1, 4)	(1, 5)	(1, 6)	(2, 3)	(2, 4)	(2, 5)
$(W_{N_i}/X) - (W_{N_j}/X)$	0.06	0.18	0.29	0.45	0.66	0.12	0.23	0.39
$\bar{T}_{S_{ij}}/T_M^2$	0.06	0.17	0.26	0.42	0.63	0.13	0.20	0.36
(i, j)	(2, 6)	(3, 4)	(3, 5)	(3, 6)	(4, 5)	(4, 6)	(5, 6)	
$(W_{N_i}/X) - (W_{N_j}/X)$	0.60	0.11	0.27	0.48	0.16	0.37	0.21	
$\bar{T}_{S_{ij}}/T_M^2$	0.59	0.09	0.25	0.45	0.16	0.35	0.21	

当对灰度板上的区域 i 和区域 $j(i < j)$ 实现相减时, (10) 式右端可以由 $W_A = W_{N_i}$, $W_B = W_{N_j}$ 的数据算得。(10)式左端的平均合成透射率可用测微光度计测得, T_M 由半色调负片及正片的未曝光部分测得 ($T_M = 0.87$)。表 2 列出了这两项数据, 其中 $\bar{T}_{S_{ij}}$ 是半色调正片的区域 i 与半色调负片的区域 j 的平均合成透射率。从表中可以看出, 这两组数据的最大偏差为 0.03。图 8 以更直观的方式表达这个结果。其中小“十”字代表实验数据, 而实直线代表由(10)式所要求的数据位置。

四、小 结

我们提出了一种利用密着网屏对图象实现光学脉宽调制, 然后进行图象相减的方法。通过定性和定量的实验, 证实了本方法的有效性。对于检测两图象的差别, 密着网屏的透射率分布形式比较不很重要, 但是对各种形式的定量相减, 则需要有适当透射率形式的密着网屏, 以得到理想的 $f(T)$ 形式。然而, 不论是定性或定量相减, 密着网屏的空间频率均需足够高, 因为它将影响相减处理的分辨本领。此外, 减法的精度还取决于底片的反衬度, 曝光显影等条件以及对准精度等等。因为整个操作不需要复杂、高级的设备, 所以这个方法比较容易实现。本方法的主要缺点是不能实时进行。

参 考 文 献

- [1] W. Hanafee, P. Stout; *Radiology*, 1962, **79**, No. 10, 658.
- [2] P. Kunstmann, H. -J. Spitschan; *Opt. Commun.*, 1971, **4**, No. 2 (Oct), 166.
- [3] J. F. Ebersole; *Opt. Engng.*, 1975, **14**, No. 5 (Sep-Oct), 436
- [4] E. Marom, J. Grinberg; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 12 (Dec), 3086.
- [5] D. Z. Zhao, C. K. Chiang *et al.*; *Opt. Lett.*, 1981 **6**, No. 10 (Oct), 490.
- [6] 刘华光; 《光学学报》, 1981, **1**, No. 2 (Mar), 97.
- [7] M. H. Jacobs; *G. L. Rogers Ed. Noncoherent Optical Processing*, (Wiley-Interscience, New York, 1977) 121~123.
- [8] H. K. Liu, M. A. Karim; *Opt. Lett.*, 1981, **6**, No. 7 (Jul), 319.

An optical image subtraction technique by the use of a contact screen

ZHAO DAZUN*

(Optical Engineering Department, Beijing Institute of Technology)

C. K. CHIANG AND H. K. LIU

(Electrical Engineering Department, University of Alabama)

(Received 28 August 1981, revised 14 June 1982)

Abstract

A new optical image subtraction technique and its experimental demonstration are described by the use of a one-dimensional contact screen, the input images are optically pulse-width-modulated into a set of halftone photographs, the subtraction is then materialized by the superposition of the positive and negative halftone photographs. The experiment results, both qualitative and quantitative, have shown the effectiveness of the technique. The features of the technique are no: sophisticated equipment is required, the output quantity can be made directly proportional to the desired difference and the polarity of the difference can also be determined.

* Now as a visiting scholar at the University of Alabama.

第一届全国色心激光学术会议在泉州召开

1982年6月5日~10日在福建省泉州市举行了第一届全国色心激光学术会议。这次会议是在中国光学学会光学材料专业委员会主持下,由泉州华侨大学化学化工系主办的。参加会议的有来自全国33个单位的68名代表。

会议共宣读了37篇论文。它们的内容大致上可分为五个方面:特邀文章(8篇);晶体生长(7篇);色心物理(10篇);色心激光(5篇);非碱土金属卤化物晶体的色心(7篇)。

特邀文章主要是系统和全面地论述了色心的形成、转换和衰减机理,研究色心的方法、手段,色性晶体的一些特性,利用色心产生激光的实验和理论探索以及色心激光在各方面的可能应用。

从宣读的论文来看,我国固体可调谐色心激光工作当前还处在萌芽状态,报告主要集中在碱土金属氟化物LiF晶体的F₂⁺心上,各单位所做的工作大同小异。晶体生长工作则以碱土金属氟化物LiF、氯化物KCl为主,并对其物理特性(稳定性、光谱等)进行研究。

会议除学术报告外,还组织了色心物理和晶体生长两个专题进行讨论。代表们认为色心工作的研究范围和晶体的品种,无论在理论上或在实验上应展开更为广泛的工作。对KCl色心激光及其在计量标准上的应用,中国科学院物质结构研究所、长春光学精密机械研究所、上海交通大学、华侨大学、天津大学、吉林大学和计量研究院等七个单位拟联合组织协作攻关。

这次会议是色心激光工作者的首次集会,它为各种不同专业科研技术人员提供了相互学习、相互交流和相互启发的良好机会,有利于促进这一新兴领域的发展。因此,经会议决定二年后召开下届会议。

(黎风)