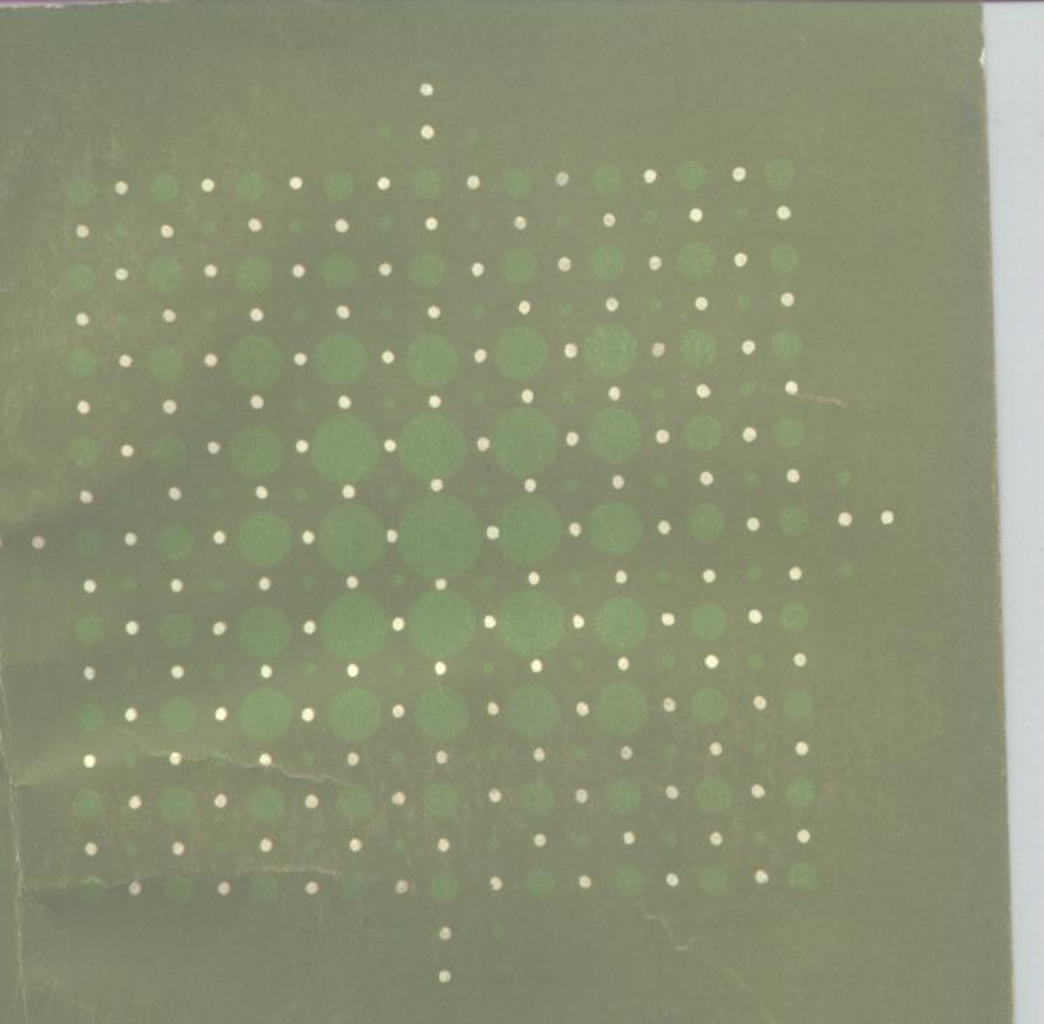




[日] 辻内順平 等编
村田和美

光学信息处理

机械工业出版社

73.772
185

光学信息处理

〔日〕辻内顺平 村田和美 等编

· 谈恒英 译 陈文斌 校



机械工业出版社

DTU 102
本书是一部光学信息处理方面的专著。全书共七章，内容包括光学信息处理概述、相干光学处理、非相干处理、利用照相和光电测光技术的处理、电子计算机在光学信息处理中的应用及全息术等，同时还介绍了用于光学信息处理的输入、输出装置和有关的电子仪器。本书所涉内容广泛，系统性强；叙述深入浅出，各章末还附有参考文献。

本书可供从事光学信息处理方面的科研人员、工程技术人员以及高等院校有关专业师生参考。

光 学 情 報 处 理

辻内顺平 編集

村田和美

昭和 49 年 6 月 25 日 初版第 1 刷

昭和 55 年 5 月 1 日 第 2 刷

朝 倉 書 店

* * *

光 学 信 息 处 理

[日] 辻内顺平 等编 谈恒英 译 陈文斌 校
村田和美

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可証出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₃₂·印张 15¹/₄·字数 334 千字

1985 年 8 月重庆第一版·1985 年 8 月重庆第一次印刷

印数 0.001—4.800·定价 3.60 元

*

统一书号: 15033·5799

译 者 的 话

六十年代激光的出现，促使光学进入一个新的发展阶段，光学信息处理也随之蓬勃发展而成为近代光学的一个重要应用领域之一。对于这个领域的认识、研究和应用具有实际而深远的意义。翻译本书的目的是想把这本由辻内顺平和村田和美等先生精心编写的著作介绍给我国广大从事近代光学研究的学者和工程技术人员。我们认为，本书是近年来有关光学信息处理方面较系统和全面的著作，很有参考价值，对于初学者也是一本有用的入门参考书。它系统地叙述了各类光学信息处理的基本原理、处理方法和相关技术，讨论了电子计算机在光学信息处理中的应用，并就光学信息处理中所用的一些输入、输出装置作了具体介绍，内容广泛，叙述深入浅出。

对原书中的某些明显错误，在译文中已作了改正，一般未加注明。限于水平，译文难免有不当甚至错误之处，请读者指正。姜文炳同志对本书的出版工作甚为关注，并为翻译工作提供方便。本书在翻译过程中还得到其他同志的不少帮助，在此谨致以深切的谢意。

前 言

自从激光实用化并作为新的光源使用以来，使从前停留在实验室里的物理光学现象能够以新的技术得到应用，并从物理学的一个分支——光学跨出一步，向着研究光的应用技术这一近代光学领域发展。

这一近代光学的应用领域之一是信息处理，称为光学信息处理。现在这个领域的内容，不只限于利用光学现象的信息处理，而且牵涉到使用电子计算机的图象处理、信息的光学记录和显示、电子计算机的光学外部设备以至于光学数字计算机等，其内容是极为广泛的。

本书从这广泛的领域出发，着重就基于光学原理的信息处理和电子计算机在光学信息处理方面的应用，并与之有密切关系的全息术、用于信息处理的光学装置及图象用电子仪器等作了叙述。

近来对光学信息处理一般都比较关心，许多研究文章陆续发表，但大多刊登在专门的学术杂志上。欧美已有若干这方面的书籍出版。而在我国还尚未见到合适的参考书，这给关心这一领域的初学者带来不便。本书就是为了弥补这一缺陷而编写的，如若对读者有所参考，不胜欣慰。

全书由包括编者在内的五人执笔。书中各章公式的符号未必能够统一，但尽可能采用共同的专业术语。另外，为使有关联的问题可互相参照，编写时力求各章之间能有机联系。由于编者考虑不周，在编辑上花费了甚多时间，以致延

误了本书的出版，给诸位执笔者增添了麻烦，在此表示歉意，并感谢诸位在百忙中的大力协助。

筹备本书时，“加农”股份有限公司佐柳和男博士曾花了不少精力，原打算请他执笔并参加编辑，由于佐柳和男博士受公司委托调往美国工作，未能如愿，于是决定由辻内、村田两位作编辑。本书完成之际，特此记述并表示感谢。

辻内顺平

村田和美

一九七四年六月

目 录

1. 光学信息处理概论	1
1.1. 光学信息处理的要素	2
1.1.1. 基本的处理	2
1.1.2. 信息的输入和输出	8
1.2. 光学信息处理的实际过程	10
1.3. 光学信息处理的相关技术	13
1.3.1. 电子计算机与光学信息处理	13
1.3.2. 电子学与光学信息处理	15
	[辻内 顺平]
2. 相干处理	18
2.1. 相干系统	18
2.1.1. 光的相干性	18
2.1.2. 相干成象系统	23
2.1.3. 相干处理	26
2.2. 光学变换	27
2.2.1. 光的衍射和光学变换	27
2.2.2. 夫琅和费衍射	31
2.2.3. 夫琅和费衍射的性质	36
2.2.4. 夫琅和费衍射的应用	42
2.2.5. 菲涅耳衍射	49
2.2.6. 菲涅耳衍射的性质	50
2.2.7. 菲涅耳衍射的应用	52
2.2.8. 综合孔径法——侧视雷达象的处理	54
2.3. 物面上的处理	60

2.3.1. 和、差与微分.....	61
2.3.2. 积、商与调制.....	63
2.4. 频谱面上的处理.....	65
2.4.1. 和与差.....	66
2.4.2. 积、商与滤波.....	69
2.4.3. 相关与卷积.....	97
2.4.4. 编码变换.....	107
[辻内 顺平]	
3. 非相干光学处理.....	114
3.1. 非相干成像系统.....	114
3.2. 非相干处理.....	118
3.3. 物面上的处理.....	118
3.3.1. 相关.....	118
3.3.2. 调制.....	129
3.3.3. 变换.....	146
3.4. 光瞳面上的处理.....	150
3.4.1. 一般的光学系统(不与滤波器并用的情况).....	152
3.4.2. 光栅状滤波器.....	154
3.4.3. 沃耳特(Wolter)最小强度检出滤波器.....	155
3.4.4. 统计滤波器.....	156
3.4.5. 小棱镜滤波器.....	158
3.4.6. 相衍照片.....	159
3.4.7. 切趾术.....	161
3.4.8. 超分辨.....	162
[辻内 顺平]	
4. 利用照相技术及光电测光技术的处理.....	164
4.1. 利用照相技术的处理.....	164
4.2. 利用荧光板的红外消光进行高通滤波.....	171
4.3. 利用光电测光和电子仪器的处理.....	173
[辻内 顺平]	

5. 电子计算机在光学信息处理方面的应用	187
5.1 利用电子计算机进行二维傅里叶变换及其在光学信息处理方面的应用	189
5.1.1. 离散傅里叶变换	189
5.1.2. 抽样定理	193
5.1.3. 离散傅里叶变换和抽样定理	196
5.1.4. 快速傅里叶变换的原理	198
5.1.5. 快速傅里叶变换算法	200
5.1.6. 快速傅里叶变换法在光学问题上的应用	207
5.2. 电子计算机中光学信号的输入和处理象的显示	210
5.2.1. 抽样噪声和量化噪声	210
5.2.2. 图象信号的抽样问题	213
5.2.3. 光学信号的检测	214
5.2.4. 图象的输入和输出装置	216
5.3. 利用电子计算机进行空间频率滤波及图象修正	219
5.3.1. 透镜成像和空间频率滤波	220
5.3.2. 利用电子计算机进行空间频率滤波	222
5.3.3. 利用电子计算机进行空间频率滤波的例子	224
5.3.4. 滤波和图象修正	228
5.3.5. 利用电子计算机修正光学系统象差引起的不清 晰象	229
5.3.6. 利用电子计算机修正象移照片	233
5.3.7. 最小均方误差和修正滤波器	240
5.3.8. 利用累积处理提高信噪比 S/N	247
5.4. 通过非线性处理修正图象的对比度	248
5.5. 位移可变系统的图象处理(线性系统)	253
5.6. 系统的频带限制所造成的劣化象的修正(超分辨)	259
5.7. 电子计算机合成全息图	265
5.7.1. 取样全息图的合成	265
5.7.2. 三维全息图的合成	277

5.7.3. 利用电子计算机制作空间频率滤波器.....	282
5.7.4. 计算全息图重现象中频谱噪声的减轻.....	283
5.8. 相衍照片.....	286
5.8.1. 相衍照片的原理和计算方法.....	287
5.8.2. 三维相衍照片和离轴相衍照片.....	290
5.8.3. 位相失调.....	292
5.8.4. 相衍透镜.....	294
5.9. 利用电子计算机进行全息图的重现.....	295

[一岡 芳樹]

6. 全息术.....	304
6.1. 概述.....	304
6.2. 全息术的原理.....	306
6.2.1. 物体光波波面的记录.....	306
6.2.2. 物体光波波面的重现.....	309
6.2.3. 盖柏全息术和利思全息术.....	311
6.2.4. 全息图的空间频谱.....	315
6.2.5. 漫射照明物体的全息图.....	318
6.2.6. 全息术的成象关系式和象差.....	320
6.3. 全息术的种类.....	325
6.3.1. 全息术的分类.....	325
6.3.2. 菲涅耳全息术.....	328
6.3.3. 夫琅和费全息术.....	329
6.3.4. 傅里叶变换全息术.....	332
6.3.5. 位相全息图.....	334
6.3.6. 体积全息术.....	336
6.3.7. 非相干全息术.....	338
6.3.8. 积分全息术和全息立体图.....	341
6.3.9. 光波以外其他波源的全息术.....	344
6.4. 全息图的作用.....	346
6.4.1. 全息图的成象作用.....	346

6.4.2. 全息图的滤波器作用	350
6.5. 全息术的应用	354
6.5.1. 立体重现	354
6.5.2. 二维实象的成象	361
6.5.3. 干涉计量	362
6.5.4. 图象处理	366
6.5.5. 存储器	372
[村田 和美]	
7. 输入、输出装置	381
7.1. 光学系统及光学装置	381
7.1.1. 光学系统的近轴成象	381
7.1.2. 光学系统的成象性能	383
7.1.3. 光学元件	385
7.1.4. 光学信息处理装置的结构	388
[村田 和美]	
7.2. 光源	390
7.2.1. 对光源性能的要求	390
7.2.2. 白光光源及单色光源	391
7.2.3. 激光器	393
[村田 和美]	
7.3. 感光材料	394
7.3.1. 对感光材料性能的要求	394
7.3.2. 各种感光材料	395
[村田 和美]	
7.4. 图象变换、增强和存储	398
7.4.1. 光电现象	399
7.4.2. 二次电子发射	403
7.4.3. 发光	405
7.4.4. 利用荧光板变换象的波长	406
7.4.5. 成象管的原理	407

7.4.6. 图象变换管	409
7.4.7. 图象增强管	411
7.4.8. 图象存储管	411

[长谷川 伸]

7.5. 图象信号输入装置	414
7.5.1. 输入装置的性能	415
7.5.2. 图象信号发生的原理	417
7.5.3. 摄象装置的一般性质	420
7.5.4. 析象管	423
7.5.5. 飞点扫描器	424
7.5.6. 光导型摄象管	425
7.5.7. 超正析象管	428
7.5.8. 微光摄象管	429
7.5.9. 信号存储管	431

[长谷川 伸]

7.6. 图象显示装置	432
7.6.1. 概述	432
7.6.2. CRT显示装置的特性及其评价	433
7.6.3. 彩色显示装置	451
7.6.4. 特殊用途的CRT	459
7.6.5. 存储显示用的CRT	464
7.6.6. 其他显示装置	466

[大石 巖]

1. 光学信息处理概论

利用电子设备作信息处理就是处理随时间变化的一维信号和利用电子线路进行模拟计算或数字运算。众所周知，这类信息处理，就模拟计算机或数字计算机而言，已成为今日信息处理技术的核心。

相反，对于诸如文字、图象、照相之类二维空间分布图形，即二维图象的运算则称为图象信息处理，近年来它的必要性日益增长。图象信息处理当然也可以通过对图象扫描，作成时间序列的信号，再经抽样变为数字信号，而后由模拟计算机或数字计算机进行处理。但是利用扫描及抽样进行处理时，图象的分辨率将受到限制，要提高分辨率就必须进行大量的计算，而这未必是容易的事；另外，再把计算的结果复原成视觉判断时的图象形状，其间的转换也是十分麻烦的。因此，我们考虑不对图象扫描及抽样，而对其原始形状直接进行运算，利用光的透射、干涉和衍射等光学现象来处理，我们称这种信息处理为光学信息处理。

光学信息处理是对二维图象直接进行运算，不是由电子仪器及电子计算机逐时处理。由于许多信息并行处理，因此不必经过扫描及抽样，其分辨率高而运算时间可以极短；再者，其输入和输出是以图象形式进行的，所以也不需要象计算机处理那样进行图象复原。

然而，光学信息处理利用了光的自然现象，因而限制了可能运算的种类，加之光学系统本身的象差、偏心，光学元

8610091

件的制造误差等，都给提高精度带来了困难。因此，光学信息处理并不是对所有情况都适用，而需要我们找到它适用的范围及场所才能加以应用。从这一意义上讲，光学信息处理与计算机处于相辅相成的地位，因此使两者恰当地分工，就很有必要了。图象的光学表示法有两种，一是利用单色光的强度或振幅分布来表示，二是利用光波波长的空间分布的色彩来表示。图象的色彩表示法也可以认为是三种色光图象和的分解，因此在一般的光学信息处理中，除特别指明外，通常都限于单色光处理。本书也一样，没有特别指明者，均按单色光处理。

这一章将叙述光学信息处理的基本概念，详细的处理留待以后各章中介绍。

1.1. 光学信息处理的要素

1.1.1. 基本的处理

光学信息处理是利用光学手段，通过将分布在一平面上的图象移至另一平面来进行的。基本的处理有以下三种：

a) 积

如图1.1所示， P_1 面上记录着强度透过率分布为 $g_1(x, y)$ 的图象，用强度为 C_0 的光束照明图象，其透射光的强度分布为 $C_0 g_1(x, y)$ ，紧挨着 P_1 面放上记录着强度分布为 $g_2(x, y)$ 的图象面 P_2 ，则透射光的强度分布为：

$$g'(x, y) = C_0 g_1(x, y) g_2(x, y) \quad (1.1)$$

从而得到相当于两个图象之积的分布。这时也可以在 P_1 面上用具有 $C_0 g_1(x, y)$ 分布的照明光代替记录了第一个图象分布 $g_1(x, y)$ 的透明画 P_1 ，分布 $g_2(x, y)$ 也可以是空间滤波器或挖去了空间某一部分的孔径（掩膜）等。

1000100

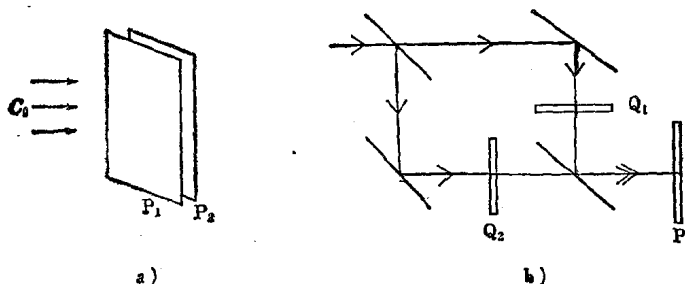


图1.1 图象的积

同样的关系对复振幅分布也成立，还适用于具有 $g_{A1}(x, y)$ 和 $g_{A2}(x, y)$ 振幅分布的图象 Θ 。这时需考虑下面两种振幅分布情况，

第一是记录了 $g_{A1}(x, y)$ 和 $g_{A2}(x, y)$ 或两者之一图象的情况，这时与上述完全相同的积的关系成立。第二是 $g_{A1}(x, y)$ 及 $g_{A2}(x, y)$ 彼此以相干波面的形式给出的情况。这与下面情况相当，例如在图1.1b) 中，把透明画 Q_1 、 Q_2 放在迈克耳逊干涉仪的两支光路中，透过这两张透明画得到的两个波面在 P 面分别形成的分布为 $g_{A1}(x, y)$ 和 $g_{A2}(x, y)$ 。此时两波面在 P 面上干涉的结果产生了强度分布为下式所示的干涉条纹：

$$\begin{aligned}
 i(x, y) &= |g_{A1}(x, y) + g_{A2}(x, y)|^2 \\
 &= |g_{A1}(x, y)|^2 + |g_{A2}(x, y)|^2 \\
 &\quad + g_{A1}(x, y)g_{A2}^*(x, y) \\
 &\quad + g_{A1}^*(x, y)g_{A2}(x, y)
 \end{aligned} \tag{1.2}$$

将此干涉条纹记录在后面将要介绍的照相感光材料上，

Θ 将表示振幅量的下标加“A”字使与强度量相区别。

取 $\nu = -2$, 则由后面的式(1.17), 得到振幅透过率分布为:

$$\begin{aligned} T_A(x, y) &= i(x, y) \\ &= |g_{A1}(x, y)|^2 + |g_{A2}(x, y)|^2 \\ &\quad + g_{A1}(x, y)g_{A2}^*(x, y) \\ &\quad + g_{A1}^*(x, y)g_{A2}(x, y) \end{aligned} \quad (1.3)$$

这样就得到 $g_{A1}(x, y)$ 和 $g_{A2}(x, y)$ 的积(其中一方变为共轭复数)。这个方法用在全息图的记录上(参见2.3.2及6.2)。

b) 光学变换

光学变换是利用光通过记录着图象的透明画时产生光的衍射而获得的变换方法。有两种变换, 即利用夫琅

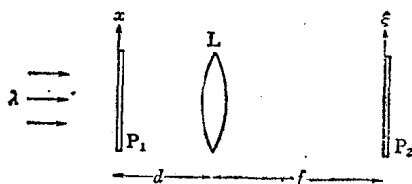


图1.2 傅里叶变换

和费衍射的傅里叶变换和利用菲涅耳衍射的菲涅耳变换。

在傅里叶变换中, 如图1.2所示, 采用透镜L, 然后把振幅透过率为 $g_{A1}(x, y)$ 的透明画放在透镜L前相距为 d 的 P_1 面上, 用由点光源发出、平行于光轴且波长为 λ 的光照明, 则在透镜L的焦面 P_2 处产生如式(1.4)所示的振幅分布(参见2.2.2):

$$\begin{aligned} u_A(\xi, \eta) &= \text{const} \exp \left[2\pi i \frac{\xi^2 + \eta^2}{2\lambda f} \left(1 - \frac{d}{f} \right) \right] \\ &\quad \iint_{-\infty}^{+\infty} g_A(x, y) \exp[-2\pi i(\xi x + \eta y)/\lambda f] dx dy \\ &= \text{const} \exp \left[2\pi i \frac{\xi^2 + \eta^2}{2\lambda f} \left(1 - \frac{d}{f} \right) \right] G_A(\mu, \nu) \end{aligned} \quad (1.4)$$

$G_A(\mu, \nu)$ 是 $g_A(x, y)$ 的傅里叶变换, 变数 (μ, ν) 叫做空间频率。设 P_2 面的实际长度坐标为 (ξ, η) , 则有关系式:

$$\mu = \xi / \lambda f, \quad \nu = \eta / \lambda f \quad (1.5)$$

特别当 P_1 面为透镜 L 的物方焦面时, 由于 $d = f$, 故由式 (1.2) 得:

$$u_A(\xi, \eta) = \text{const} G_A(\mu, \nu) \quad (1.6)$$

从而得到正确的傅里叶变换。

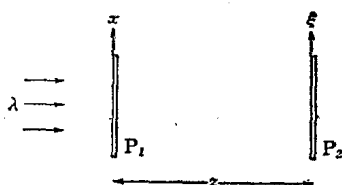


图 1.3 菲涅耳变换

菲涅耳变换是通过菲涅耳衍射来进行的。其装置方法有好几种, 图 1.3 所示是最常用的一种, 让波长为 λ 的平行光垂直入射在 P_1 面处的图象 $g_A(x, y)$ 上, 则在 P_1 面后 z 处与 P_1 面平行的 P_2 面

上产生的振幅分布, 可表示为:

$$u_A(\xi, \eta) = \text{const} \exp(2\pi i z / \lambda)$$

$$\iint_{-\infty}^{+\infty} g_A(x, y) \exp \left[2\pi i \frac{(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2}{2\lambda z} \right] dx dy$$

$$= \text{const} g_A(\xi, \eta) * \exp \left[2\pi i \frac{\xi^2 + \eta^2}{2\lambda z} \right] \quad (1.7)$$

这就是菲涅耳变换。* 是卷积运算符号。

c) 光学成像

光学成像是利用透镜等成像光学系统, 将某个面内的图象移至其他面上的过程。对此, 至少要考虑相干成像和非相干成像两种情况。

相干成像是输入图象上任意两点发出的光都具有相干性的成像。这时输入图象可以用单色点光源照明。图 1.4 所示