

光学数据处理—应用

〔美〕D. 卡萨森特 主编

科学出版社

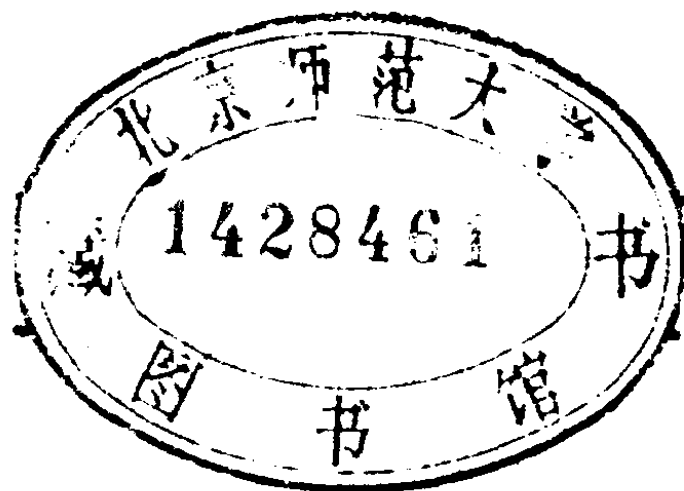
JU11/135/02

光学数据处理——应用

〔美〕D. 卡萨森特 主编

马春荣 郑桂泉 译

李迺吉 校



科学出版社

1987

内 容 简 介

本书介绍了相关性、光学傅里叶变换、空间滤波、全息摄影术等基本概念、简要原理、实际技术操作及具体在结晶学、光学图象复原、图象增强、合成孔径雷达、摄影测量学、无损检验和计量、生物学和医学、光信号处理等领域中的应用。

本书可供从事光学数据处理及其应用的科技人员及高等院校有关专业的师生参考。

Edited by D. Casasent
OPTICAL DATA PROCESSING
Applications
Springer-Verlag, 1978

光学数据处理——应用

(美) D. 卡萨森特 主编

马春荣 郑桂泉 译

李迺吉 校

责任编辑 刘海龄

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1987 年 8 月第一次印刷 印张: 11 3/8

印数: 0001—2,900 字数: 256,000

统一书号: 15031·834

本社书号: 5158·15-4

定价: 2.70 元

译 者 的 话

作为光学信息处理的一个重要领域——光学数据处理，从二十世纪六十年代以来，发展得非常迅速。它对国内外的许多科学研究工作者及工程技术人员具有巨大的吸收力。

本书是美国应用物理丛书(Topics in Applied Physics)中的第二十三卷。该书对光学数据处理从基本理论到应用技术都作了全面而系统的介绍。

国内在此领域虽然已作了大量的工作，并作过一些报道，但尚无系统的专著，鉴于此，我们将该书译成中文以资参考。

参加本书翻译工作的还有黄友之，刘士英同志；参加校对工作的还有李家泽，张志远同志。

本书涉及多种学科，由于译者水平所限，加之时间仓促，错误和欠妥之处在所难免，切望读者指正。

前 言

本书是为满足多种需要而编写的。首先，本书想对光学数据处理的现状提出一个最新的总结：光学数据处理已经取得哪些成就，它能完成哪些任务，以及它如何完成这些任务。我们认为论述光学数据处理技术的不同应用，提出最新总结是最好的方法。在本书所有实例中都使用了共同的基本手段和方法。许多教科书都对这些实例作了充分的论述，本书将这些实例汇集到第一章中。因为光学数据处理的目的在于应用基本技术来解决一些具体问题，所以看来对这些具体应用进行讨论是必要的。

这些讨论有助于可能采用光学数据处理的人们在作出决定以前需要弄明白的步骤：是否应该用光学处理来解决某一特定的问题；是否考虑到有哪些应用范围，为什么要这样考虑；如何利用一些基本概念来形成一种可供选择的系统；以及为什么必须对这些基本概念进行修正及改进，并提出新的概念来找出某一领域问题的特征。

然而，本书也是为当前工作于各种光学处理领域的研究人员编写的。通过评述我们光学处理领域各方面当前所处的地位，我们就能在适当的方向上很好地指导未来的研究工作。只有停止对各种论文和报告的编写，而寻求新的方向，我们才能找出目前人们对光学处理的认识还存在什么差距，从而明智地选定下一步的研究领域。没有那样的一个新方向，我们就有陷入过分专门化的危险。光学处理领域的研究人员在从事其它应用领域的工作时，我们常看到适用于某一领域的技

术和方法也能用来解决其它领域的问题。我们也常发现，一些想用到某一领域、而不适用的方法，却可用来解决其它领域的问题。

为全面起见，我们引入第一章作为导言，集中介绍了一些基本概念和后面许多章节所采用的共同概念。我们选定的特殊应用领域包括：结晶学、图象的增强和复原、合成孔径雷达、摄影测绘、全息干涉测绘、无损测试、生物医学应用和信号处理。在第一章末，对这些章节分别做了较详细的讨论和评述。

我们希望本书对从事任何形式数据处理的工程师，对打算使用光学处理的工程师，以及当前涉及某一方面光学处理的研究人员有一定使用价值。本书的内容编排形式力求便于读者参考，便于自学或作简明教材之用。如果有必要，为了对基本原理给出更为详尽的叙述，可用一种基础教程或专题应用物理学中的一卷(S. Lee 编辑的《Optical Data Processing, Fundamentals》)来补充本书及第一章（以及其它章节）的内容。有了这两本书，即可汇编成供研究生课程用的一套教材。

D. 卡萨森特

1977 年 11 月于

宾夕法尼亚州匹兹堡

目 录

译者的话	1
前言	ix
第一章 基本概念	D. Casasent, H. J. Caulfield
1.1 引言	1
1.2 相干性	1
1.3 激光器	3
1.4 光学傅里叶变换	4
1.5 图象处理和空间滤波	7
1.6 全息摄影术	8
1.7 匹配空间滤波	11
1.8 光学图形识别	14
1.9 组合变换相关器	16
1.10 本书的范围	18
1.11 摘要	21
参考书目	22
第二章 光学变换和相干处理系统——从结晶学方 面的理解	B. J. Thompson
2.1 历史背景	24
2.2 系统的说明和设计	26
2.2.1 光源在无限远处	26
2.2.2 光源的位置是任意的	31
2.3 变换的性质	32
2.3.1 比例	32
2.3.2 形状	33
2.3.3 位移	35
2.3.4 卷积和乘积	35

2.3.5	阵列定理	37
2.4	系统的参数	40
2.4.1	焦深	40
2.4.2	分辨率	43
2.4.3	相干性的影响	43
2.5	结晶学中关心的变换	47
2.5.1	变换的振幅和位相	51
2.5.2	变换的实部和虚部	53
2.5.3	为产生光学变换所用的系统	53
2.6	光学傅里叶合成	55
2.6.1	振幅和位相的控制	56
2.6.2	傅里叶合成实例	57
2.7	光学处理系统	59
2.7.1	结晶学中的光学处理法	59
2.8	结论	64

第三章 光学图象的增强和图象复原

.....P. S. Considine, R. A. Gonsalves

综述	65
3.1 预备知识	65
3.2 被观察图象的简单模型	66
3.3 光学滤波的原理, 探测和预测	70
3.3.1 光学滤波	70
3.3.2 无限制滤波器	72
3.3.3 相位滤波器	72
3.3.4 振幅滤波器	74
3.3.5 振幅滤波器和简单的位相滤波器	76
3.3.6 探测	77
3.4 光学滤波器的制造	79
3.4.1 光学滤波器	79
3.4.2 振幅滤波合成	81
模拟滤波器合成技术	81

3.4.3	相位滤波的合成	83
3.4.4	无限制滤波的合成	84
	全息(Vander Lugt)滤波器	84
	数字合成的振幅滤波器	87
3.5	光学处理机的方案	88
3.5.1	相干光处理机系统(COPS)	88
3.5.2	相干光学相关器	90
3.5.3	混合式数字-光学处理机	91
3.5.4	部分相干光学处理机系统(POPS)	92
3.5.5	光学处理系统的质量	95
3.6	若干应用和实例	96
3.7	结语	105
✓ 第四章	合成孔径雷达	E. N. Leith
4.1	综述	107
4.2	多普勒测距原理	107
4.3	混合多普勒,合成孔径的观点	114
4.4	全息的观点	117
4.5	脉冲压缩	125
4.6	某些光学信息处理机	127
4.7	对全息观点的评价	131
4.8	互相关的观点	135
4.9	对相干性的要求	136
4.10	飞机的假运动	139
4.11	数字法	140
✓ 第五章	摄影测绘中的光学处理	N. Balasubramanian
5.1	概述	143
5.1.1	摄影测绘立体编码原理	144
5.1.2	光学相关及其与立体编码的关系	146
5.2	光学相关器	148
5.2.1	象与象相关系统	149

5.2.2	频率平面相关系统	153
5.2.3	干涉测量相关系统	156
5.3	实验用样机系统	161
a)	图象匹配滤波相关器	161
b)	外差式光学相关系统	164
5.4	对光学相关系统的评价	174
5.5	小结	176
第六章 无损检测和计量学.....N. Abramson		
6.1	历史背景	177
6.1.1	概述	177
6.1.2	两束相交激光束所形成的干涉条纹	178
6.2	用全息析纹图计算分辨率	183
6.2.1	例1: A 和 B 为两个互相干的照明点	187
6.2.2	例2: A 为发光点, B 为相干观察点	189
6.2.3	例3: A 和 B 为两个互相干的观察点	190
6.2.4	结论	191
6.3	全息析纹图: 制作和鉴定全息图的实用器件	192
6.3.1	图的绘制	193
6.3.2	相干长度的最佳应用	196
6.3.3	条纹间距的选择	197
6.3.4	条纹的鉴定	198
6.3.5	将有害位移灵敏度减至最小	201
6.4	全息图干涉条纹的 Moiré 模拟	201
6.4.1	Moiré 模拟简介	201
6.4.2	方法的普遍性	204
6.4.3	应用	205
6.4.4	Moiré 模拟的实例	207
6.4.5	用平移法绘制等高线	215
6.5	夹层全息干涉测量法, 计算全息条纹的模拟法	218
6.5.1	夹层全息图的制作	219
6.5.2	假条纹的消除	220

6.5.3	物体位移的符号和大小	222
6.5.4	条纹旋转引起的最大应变	223
6.5.5	等高线的绘制	224
6.5.6	理论和计算	225
6.5.7	成象平面上的 Moiré 条纹	228
6.5.8	磨床的全息研究	230

第七章 相干光学在生物医学中的应用

..... H. J. Caulfield

7.1	概述	235
7.2	相干光学成象	236
7.2.1	光学显微成象	237
7.2.2	三维光学宏观成象	244
7.2.3	二维成象	247
7.3	非光学成象	248
7.3.1	声全息学	249
7.3.2	编码孔径成象	255
7.3.3	轴断层析 X-射线摄影法	261
7.3.4	三维 X-射线成象	262
7.3.5	波长编码	262
7.4	信号处理	264
7.4.1	图象处理	264
7.4.2	生物医学的数据处理	265
7.5	图象显示	268
7.5.1	伪视差	268
7.5.2	其他的三维显示	272
7.6	物体数据的选取	273
7.6.1	测量	273
7.6.2	等深线	274
7.6.3	整体运动的探测	275
7.6.4	瞬时运动的探测	276
7.7	图形识别	277

7.7.1	操作方法	280
7.7.2	应用	281
7.8	结论	282
7.9	附录: 三维图象的种类	282
第八章	光学信号处理	D. Casasent
8.1	概述	286
8.2	电子-光学转换器	290
8.2.1	固定窗孔转换器	290
8.2.2	具有可移窗孔的声-光转换器	292
8.3	折叠式光谱技术	294
8.3.1	理论上的探讨	294
8.3.2	宽带射频(RF)信号分析	298
8.3.3	胎儿脑电图分析	298
8.3.4	对发动机振动的分析	301
8.3.5	埋在噪声中的信号	303
8.3.6	空间滤波	304
8.4	雷达信号处理	306
8.4.1	相控阵列天线——理论研究	306
8.4.2	相控阵列数据的光学处理	310
8.4.3	脉冲多普勒和 FM 雷达系统——理论研究	316
8.4.4	脉冲雷达信号的光学处理	318
8.4.5	其他的考虑	320
8.4.6	多频道一维光学相关器	324
8.4.7	长编码波形的相关	327
8.4.8	多普勒信号处理	330
8.5	非相干光学信号处理	333
8.5.1	用于语言识别的光学相关器	333
8.5.2	非相干光学相关器	335
8.6	小结和结论	336
参考文献		338
索引		346

第一章 基本概念

D. Casasent, H. J. Caulfield

1.1 引言

相干光学、光学空间滤波、光学傅里叶变换、激光和全息术都是在我们的光学概念中正引起一场革命的关键项目。以前,光学只属于透镜设计者、天文学家所涉及的独立领域,但现在已变成了影响着各方面基础研究(从量子理论到医学)和应用技术整个领域(从核聚变到电话)的富有生命力的领域。本书是关于相干光学信号和图象处理基础范畴的一个进展报告。在本章我们将回顾刚才提到的那些关键性的概念,以利于理解后续章节的内容。通过本章的复习和后面较专门的章节,读者将对全部领域获得一个完整的了解。已经熟悉这些基本概念的读者立即便可转入了专门的章节,而不必担心缺少新的概念。

对这些基本概念,从最基础的(相干光)到技术性最强的概念(全息术和相关技术)都作了简要的介绍。有很多的书对这些领域中的一个或许多方面都有详细的讨论。本章末附有其中一些有注释的文献目录。

1.2 相干性

“相干性”是有关两束光或多束光的一种性质,因而更恰当地应称作“互相干性”,相互重叠的相干光束形成了光的空

间条纹，此条纹与每个个别光束的分布之和不同。我们把这种空间条纹称作“干涉条纹”。当一束相干光遇到一个实际的小孔时，由小孔的不同部分出射的光线形成的干涉条纹叫做“衍射条纹”。在常见的干涉仪（任何用于产生干涉条纹的装置）中，把来自一个光源的一束光分成两束，并在这两束光之间引入光程差，然后再使它们重新结合，以形成干涉条纹。对这种系统很易于进行分析。如果从光源点开始的两个光程在一给定的点上相消，那末即为相长干涉，输出平面的这个领域就是亮的。当程差是半波长加上或减去一个波长的整数倍（包括零），则干涉是相消的，而输出平面的这个区域就是暗的。

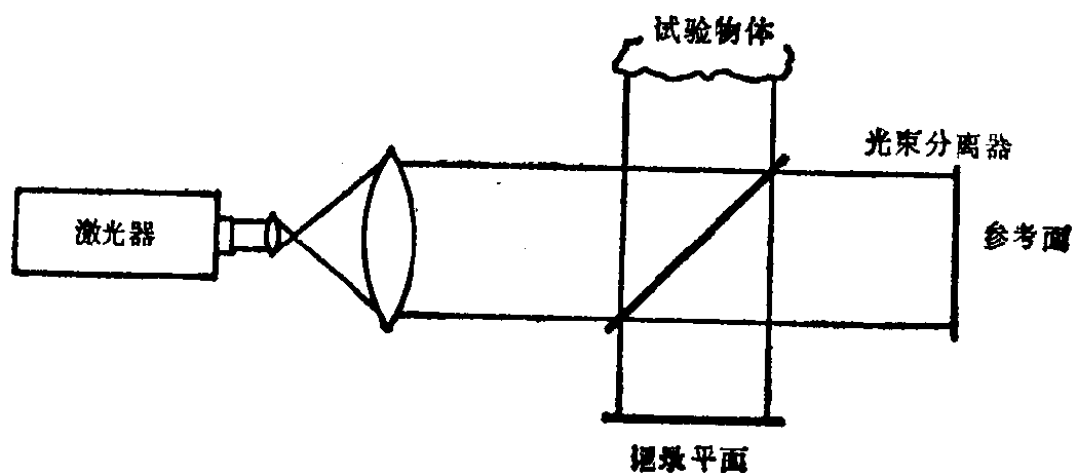


图 1.1 干涉仪示意图

遗憾的是，在这样一个简单的分析中存在两个不可避免的缺点。因为，由于很多原因，完全的单色光不可能存在，光程差对存在的一切波长不可能精确地恰为一个波长（或除零以外，其他任何一个波长的倍数）。将对部分单色光的要求称作干涉的“时间相干性”条件。实际上，程差可以很大，以至在对另一波长出现相消干涉的同一点上对一个波长出现相长干涉。将此允许的光程长度失配称作“时间相干长度”。由该长度或更大一些的长度失配的光束所产生的干涉条纹其衬度很

低。

因为原则上数学的点源也排除在外，所以光线是从源“点”中的一切点发出达到干涉图中的任一点。因此，理想的光程匹配不可能存在。类点光源的必要条件常叫做干涉的“空间相干性”要求。如果光线以最短的路程(称作“光轴”)直接从光源传播到干涉平面，则空间相干性的问题将不会造成困难。如果从类点光源发出的光线间的角度变得足够大，那么光路在任何点上都不会抵消。在系统的实际小孔处所张的最大角度确定了一个距离，此距离叫做“空间相干长度”。因此，为了获得优良的相干性(时间的和空间的)，光源必须尽可能小，且尽可能是单色的。

1.3 激 光 器

激光器出现以前，我们仅能通过光谱滤波(使通常的“热”光源尽可能变成单色)和空间滤波(使光源尽可能小)来获得优良的相干性。很遗憾，上述这些滤波造成光能的严重损耗。因此，从用词上看，一个强的、相干的光源就是一种自相矛盾的说法。借助于激光的效能，这种情况已发生了变化，激光器能够自动地产生易于聚焦到一个很小点上的高度单色光。因为激光可以很亮同时相干性很好，故对相干光学而言，激光器是关键的光源。

“激光”(Laser)是 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation 的缩写。对于我们的用途而言，关键的特征是激光辐射为极少数受激光子的一种放大的形态，这些光子由于在激光器中产生，在适当的方向上传播，并且具有由自然出现的自发辐射所确定的适当的波长，正是这种光子启动了上述过程。激光器仅能放大那些波长和传播方向位于

某些窄带内的光子。于是，被放大的光子正是那些我们想用光谱和空间滤波选出以获得良好相干性的光子。因此，我们可以说，对于一般的热光源，相干滤波必须在光源的外面，所以损耗很大，而对激光器来说，滤波器设于光源之内，不造成损耗。

1.4 光学傅里叶变换

对相干光使用透镜很自然地就会导致光学傅里叶概念。众所周知，在一块球面透镜后焦平面内的光振幅分布，是透镜前焦平面内振幅透射率的二维复傅里叶变换。这种性质是一个相干光学系统的标志，在本书的一切应用中，经常用到这种性质。第二章较详细的研究了相干光学处理机的这种操作，其中对其他条件和输入及变换透镜可供选择的布置都进行了讨论。

因为傅里叶变换的数学概念是多种科学和数据处理应用的基础，故在此引言中我们将扼要地讨论其要点。起支撑作用的理论可能需要非常复杂的数学，然而，基本概念却非常简单。为了简化起见，让我们考虑一维的情况。如 $f(x_1)$ 是一个适当的输入函数（因为难得遇到一个不适当的函数，故我们将不解释这个概念），其傅里叶变换为：

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x_1) \exp(-j2\pi x_1 u) dx_1 \quad (1.1)$$

式中 $j = \sqrt{-1}$ ， $x_1 u$ 无量纲， u 的单位是长度的倒数。我们把傅里叶变换平面的坐标 u 叫作空间频率，其典型单位为对线/毫米 = lp/mm。空间频率的变量 u 与变换平面实际长度坐标 x_2 的关系是 $x_2 = f_1 \lambda u$ ，式中 f_1 是变换透镜的焦距， λ 是所用激光的波长。

表 1.1 几对简单的傅里叶变换及其物理意义

输入函数 $f(x)$	傅里叶变换 $F(u)$	说 明
$\delta(x)$	1	x 坐标的一个点变成 u 坐标的一个常数
1	$\delta(u)$	以上的逆变换
$ag(x)$	$aG(u)$	乘一个常数
$g(ax)$	$\frac{1}{ a } G(u/a)$	比例定律
$g(x-a)$	$e^{-2\pi j au} G(u)$	位移定律
$\text{rect}\left(\frac{x}{a}\right)$	$\text{sinc}(au) = \frac{\sin \pi au}{\pi au}$	$\text{rect}\left(\frac{x}{a}\right) = \begin{cases} 1, & \text{对 } x/a \leq 1/2 \\ 0, & x/a \text{ 其他值} \end{cases}$
$xf(x)$	$\partial F(u)/\partial u$	求微分
$f(x)g(x)$	$F(u)*G(u)$ $= \int_{-\infty}^{\infty} F(\eta)G(\eta-u)d\eta$	卷积

同样易于证明逆傅里叶变换可得到

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) \exp(2\pi jxu) du \quad (1.2)$$

我们遵循习惯的方法,用小写字母的变量表示空间函数,而用相应的大写字母变量表示它的傅里叶变换。如果更仔细地研究这些基本方程,我们会注意到,在傅里叶变换平面内的每一点 u , 都会受到来自输入平面上每一点 x 的作用,反之亦然。表 1.1 中列出了几对典型的傅里叶变换,代入式(1.1)很容易获得上述结果。这些对简单变换的物理意义深刻地阐明了所涉及的过程。第一对变换说明输入平面内的一个点 x ,在变换平面内将产生一个均匀的响应,或者在 x 坐标中的一个点将变成傅里叶空间内的一个平面波。最后的一对变换说明输入空间内的乘积等价于变换空间中的卷积,反之亦然。在讨论光学图形的识别时,我们将更详细地重新研究最后一对变换。