

清华大学出版社

光学信息处理

A · W · 羅曼 著

虞祖良 金国藩 译

光学信息处理

A. W. 罗曼 著

虞祖良 金国藩 译

清华大学出版社

内 容 简 介

本书介绍了光学信息处理的基本理论及其某些应用,讲述新颖,启迪思维。主要内容有傅里叶变换,费涅尔变换,抽样定理,稳相积分,光学测不准原理,莫尔效应应用,似几何光学,干涉、相干、衍射理论,相干成象、部分相干成象和非相干成象,空间滤波,全息照相,泰保效应和泰保带,空间带宽积等。

本书可供与光学学科有关的大专院校学生、研究生、教师、科学研究人员和工程技术人员阅读参考。

光 学 信 息 处 理

A.W. 罗 曼 著

虞祖良 金国藩 译

☆

清华大学出版社出版

(北京 清华园)

清华大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

☆

开本: 850×1168 1/32 印张: 14.75 字数: 393 千字

1987年7月第1版 1987年7月第1次印刷

印数: 0001~2500

统一书号: 15235·295 定价: 2.95 元

译者的话

作者 A.W. 罗曼曾在美国加利福尼亚大学应用物理和信息科学系为高年级大学生和研究生讲授过《光学信息处理》课程，本书系在其讲稿基础上整理而成。我们翻译的是第二版，其中部分内容已由作者在 1979 年秋来华访问讲学时讲述过，博得了国内同行的好评。根据广大同行的要求，并征得作者同意，我们把全书译出，以飨读者。

光学信息处理是现代光学的重要分支，其重要性已毋庸赘言，国外发表的这方面的专著甚多。本书的特点在于对光学信息处理的一些基本概念和基本理论讲述新颖、思路开阔、别具一格。尤其在处理方法上有独到之处，即着重说明如何发现问题、考虑问题和解决问题；联系实际，讲求技巧，启迪思维。此外，本书介绍的空间带宽积理论、似几何光学概念、光学测不准原理等内容新鲜，有独特的见地和较大的实用价值。以上这些在同类书籍中都甚为鲜见。当然，这本书也有许多不足之处，好在有许多同类性质的书可做补充和参考。

由于译者水平所限，译文中定有错误和不当之处，敬请读者批评指正！

第二版序言

本版汇编了以前两卷《光学信息处理》课程的讲稿。这些讲稿是十年前在加利福尼亚大学（La Jolla 分校）的应用物理和信息科学系写成的，用作一学年教程。授课对象是物理、电气工程和计算机科学学科的高年级大学生和一年级研究生。

本书第一版中曾转载了一些参考文献，其目录分别列于各个章节。在本版中，为使结构紧凑，删去其中大多数，仅转载两篇文章（第一卷中《用光波进行电子加速》*，第二卷中《空间带宽积在空间滤波和全息照相中的应用》），这两篇文章在图书馆中难于查寻。但是我建议读者阅读所列的全部参考文献。因为这些文献大多包括了本讲稿中很多基本思想的应用，同时，多数参考文献也提供了实验结果的图片。

本书没有编入习题，因为每年都要进行大量的变动。

A.W. 罗曼

1978 年 11 月于爱尔兰根

（德意志联邦共和国）

* 该文未翻译 —— 译者注

第一卷前言

这是一本教学扎记，而不是一本书。一本书通常要汇编很多实例，但在本扎记中，我只是试图说明“你自己应该怎样做”。当然，在头脑中至少要有一些起码的事实，否则世界上的一切技巧就不会有任何用处，因此在这里我也要交待一些实例。不过要获得比较完全的基本事实，你手头就要准备一本玻恩和沃尔夫 (M. Born, E. Wolf) 的《光学原理》，或克来因 (Klein) 的《光学》。若是多加一本弗朗松 (Françon) 的《光学现象图册》，则会激发很多创造性的妙想。

一门讲授“如何去做”的课程应该附有很多家庭作业，但为了使读者自己思考，本扎记中没有包括这些作业，而只是提供了一些参考文献。阅读这些文献将有助于杂志阅读，并且会向你表明，一些原理是如何用来解决实际问题的。

舒曼 (Curtis Shuman) 整理并润色了本讲稿。陈女士 (Lindo Gail Chen) 校正了语言上的错误，并给予打印，她也绘制了全书的插图。由于他们热心的帮助使我能最终写出此扎记，我是非常感激的。

目 录

校译者的话	
第二版序言	
第一卷前言	

第一卷 光学信息处理

§1. 概要	3
§2. 傅里叶级数	5
2.1 引言	5
2.2 傅里叶级数的一些有用性质	15
2.3 二元函数的傅里叶级数	20
§3. 莫尔效应	22
3.1 小位移的测量	22
3.2 两个相同光栅旋转后形成的莫尔效应	23
§4. 作傅里叶变换的光学模拟计算机	27
§5. 再论莫尔效应	33
5.1 准周期函数的傅里叶级数表达式	34
5.2 舒斯特 (Schuster) 条纹	34
§6. 狄拉克 δ 函数	42
6.1 引言	42
6.2 $\delta(x)$ 函数的几种型式	43
§7. 傅里叶积分变换	47
7.1 一些普遍性质	53
7.2 一些特殊性质	54

7.3	极坐标形式的傅里叶积分变换	55
7.4	傅里叶积分变换的进一步研究	58
§8	光学模拟计算机的补充说明	65
§9	非线性变换	70
9.1	图解法	71
9.2	多项式非线性	72
9.3	频率调制非线性	72
9.4	硬截止	72
9.5	幅高分析法	73
§10	施瓦茨(Schwarz)不等式	74
§11	抽样定理	75
11.1	sinc 函数的性质	75
11.2	移位点的抽样	76
11.3	周期函数的抽样	78
11.4	步距不正确时的抽样	82
11.5	二维抽样	84
11.6	数字傅里叶变换	85
11.7	大数据量的数字傅里叶变换	87
§12	费涅尔变换	89
12.1	定义	89
12.2	位移定理	91
12.3	倾斜定理	91
12.4	费涅尔变换对的抽样定理	92
§13	稳相积分	96
13.1	阶跃函数的傅里叶变换	96
13.2	费涅尔积分	98
13.3	稳相法	99
13.4	鞍点法	101

§14	光是什么?	104
14.1	历史引言	104
14.2	什么是可观测到的?	106
14.3	波动方程	107
14.4	波场的复数表示	108
14.5	平均频率	112
14.6	复讯号的包络表示法	113
§15	测不准原理	115
15.1	一般推导	115
15.2	一些特殊场的测不准关系	120
15.3	x 、 ν 散布的其它定义法	123
15.4	伽伯的信息基元	126
§16	衍射理论基础	130
16.1	术语: 衍射与干涉	130
16.2	衍射理论的历史和分类	131
16.3	克希霍夫近似	133
16.4	费涅尔衍射的 RSD 理论	137
16.5	由 RSD 积分推导 HFK 积分	143
16.6	FRS衍射的抽样定理	149
16.7	扬氏衍射理论 (YMR) 的证明	151
§17	倏逝波	157
17.1	E 和 H 的边界条件; 费涅尔系数	158
17.2	倏逝波的更概括的讨论	161
§18	周期性物体的费涅尔衍射——泰保效应	163
18.1	泰保效应的 HFK 理论	164
18.2	泰保效应的 RSD 理论	165
18.3	泰保效应的平面波理论	167
18.4	调制平面波是什么, 果真存在吗?	169

18.5	应用泰保效应的傅里叶频谱仪	171
18.6	离散效应	177
18.7	泰保象的另一种解释	179
§19	波带板和透镜的费涅尔衍射	186
19.1	小议发明	186
19.2	费涅尔波带板的衍射	187
19.3	由费涅尔衍射得到的成象公式	190
§20	什么是光线	193
20.1	研究的动机	193
20.2	由波动光学导出费马原理	194
20.3	什么是阴影或“无光线”	198
20.4	似几何光学的两个例子	201
20.5	似几何光学的应用: 泰保成象中的离散效应	209
§21	费涅尔衍射在信号检测中的应用	210
§22	夫朗和费衍射	211
22.1	不使用透镜在距离 R 处的观察	212
22.2	平面波照明——单透镜	214
22.3	用于“无穷远”成象的透镜	218
22.4	会聚光照明	221
22.5	发散光照明	223
22.6	相同物体阵列的夫朗和费衍射	224
22.7	巴俾涅原理	227
§23	夫朗和费衍射用于光学特征识别	229
§24	相干光成象	229
24.1	两种装置	230
24.2	成象的卷积理论	231
24.3	相干光成象的空间滤波理论	235
§25	非相干光成象	236

25.1	“相干光”和“非相干光”的定义	236
25.2	非相干光成象的卷积理论	238
25.3	非相干光成象的线性滤波理论	240
35.4	杜斐克 (Duffieux) 公式	241
25.5	光学传递函数 (OTF) 的测量	243
25.6	透明体的非相干光成象	245
25.7	透镜象差	248
25.8	理想透镜的 OTF	250
25.9	OTF 的一些特例	253
25.10	光学传递函数 (OTF) 的综合	264
§26	部分相干光的成象理论	270
§27	空间滤波的一些应用	280
27.1	E. 阿贝 (Ernst Abbe, 1840—1905) 传略	280
27.2	相衬显微镜	284
27.3	微分干涉相衬法	285
27.4	几种图象增强方法	286

第二卷 成 象

前言	291
§1 边界条件	291
1.1 介质的突变	291
1.2 由边界条件导出的一些结果	294
§2 干涉	298
2.1 波前分割和振幅分割	298
2.2 几种典型的干涉仪装置	299
§3 相干	306
3.1 相干理论基础	306
3.2 振幅分割的相干和干涉	310

3.3	容限	317
3.4	波前分割的相干	318
3.5	光栅衍射分割的相干	325
3.6	漫射板分割的相干	325
3.7	波前分割时的部分相干	325
3.8	相干理论的最后讨论	327
3.9	群速	334
§4	偏振	336
4.1	偏振和晶体光学	336
4.2	补偿器	342
§5	全息照相	346
5.1	引言	346
5.2	罗杰尔 (Roger) 解释	348
5.3	位相损失的讨论	352
5.4	广义罗杰尔解释	354
5.5	费涅尔全息照相理论	357
5.6	消除孪生象的一些努力	361
5.7	波的传播和费涅尔变换	369
5.8	费涅尔离轴全息照相	373
5.9	共轭象的赝视结构	381
5.10	全息照相装置的分类	394
§6	泰保带	407
§7	照相材料对空间数据处理的影响	417
7.1	照相乳胶中产生的效应	417
7.2	全息照相记录时乳胶内光散射的影响	424
§8	空间带宽积 SW ——空间带宽积在空间滤波和 全息照相中的应用	428

第一卷

光学信息处理

§ 1 概 要

本课程安排三个学期，其后，将在研究生的课程中（APIS 294B）设置专门研究光学信息处理的某些专题。本课程并不试图涉及物理光学的整个领域，而只是着重于对信息处理有用的一些内容，如全息照相。另一门光学课程（APIS 203）讲授光学仪器和生理光学。这是光学中目前十分活跃的领域。直到最近，我们才开始明白颜色是如何觉察的，以及大脑又是如何通过眼睛来获取信息的。眼睛时刻接受大脑的控制，以便最有效地去搜集信息。光学仪器也许不是光学中最吸引人的领域，但是懂得光学仪器原理确实很有用，因为它几乎应用于所有的科学领域。激光和其它的量子电子学课题在 APIS 207 课程中讲授。懂得激光同样是很有价值的，因为激光广泛地应用在很多课题中，例如空间通讯，微型化以及制作全息图。

本课程（APIS 205/114）包括某些数学方法的复习，物理光学基础，物理光学在全息照相中的应用，以及其它的光学信息处理方法。在数学处理上，我们往往采用简便的近似处理方法。对于打算理解光学并探求最佳的光学方法而言，这种近似处理比单纯追求严谨性更为可取。

三学期的课程中将教授下述内容：

A. 光学 I

包括傅里叶级数，莫尔效应，用作傅里叶变换的光学模拟计算机， δ 函数，傅里叶积分，施瓦茨不等式，费涅尔变换，稳相法，测不准原理，抽样，光是什么，夫朗和费衍射，线性滤波系统的相干成象，某些空间滤波实验。

B. 光学Ⅱ

边界波，干涉，应用于干涉量度术的相干理论，泰保效应，偏振和晶体光学，全息图和费涅尔波带片，全息术中的双象，赝共轭象，全息装置的分类，记录介质的影响，空间带宽积，全息数据存储。

C. 光学Ⅲ

广义全息图，雾和湍流的渗透性，计算全息，空间滤波，全息术的其它应用，其它的数据处理方法，先验信息的利用。

如前所述，本课程的主要目的是把物理光学和通讯理论结合在一起。这种结合对两个学科的发展都会带来好处。过去，光学一直是研究“物体到象面的能量传输”，这无疑是正确的，但并不完善。因为在很多场合，我们更感兴趣的是信息的传递而不是能量的传递。当然，没有能量的传递，也就根本谈不上信息的传递，但我们感兴趣的并不是能量本身的全部内涵；能量的结构，分布或排列才是重要的。换言之，通讯理论家研究电子学所一直采用的观点现将用于光学领域，这既能对古老的光学规律提供新的解释，又大大启迪我们发现一些新的光学规律。而这些新规律有可能在通讯和数据处理技术中很有用。事实上，某些数据处理的运算，应用光学的方法要比用电子学的方法更奏效。这样，光学工作者反过来也对电气工程的发展起了有益的推动。

我在前面已指出，本课程安排在本学年的三个学期中进行。作为学习准备，我们主要需要波动光学的知识，这也就要求熟知最重要的数学工具——傅里叶变换。因为学生的程度很不一致，故首先要复习这两方面的内容，这大约需要第一学期的一半时间。

在此，再就本课程没有包括的内容讲几句话：(1)“瞬时现象”，像激光束的调制和解调。从系统观点来看，光的时间调制和

电讯中的高频调制是无区别的，只不过被调制的频率更高罢了。因此，很自然地应把这方面内容合并到电气工程课，在那里要讲授高频调制。

当然，用于光束发射，调制和探测的设备和高频技术中所用的设备是不相同的。要透彻了解瞬时光学中所用的设备，最好作为课程（2）“光和物质的相互作用”的一个方面来讲授。

课程中没有述及的第三个专题是（3）“光学噪声”。幸好，在时稳光学中，空间噪声通常不大严重，但我们偶而也必须提到它。经典物理光学范畴内光学噪声的处理已由奥涅尔（E. O'Neill）在《统计光学导论》一书中介绍。而更完善的处理必须考虑到物质和辐射的量子结构，这大约需要整整一学年的课程。路易赛尔（W. Louisell）的《辐射和噪声的量子理论》一书及雅瑞夫（A. Yariv）的《量子电子学》都论述了这一课题，这两本书都用了近代量子理论的表述法。西戈曼（A. E. Siegman）的《激光器和微波激射器，及其应用》一书用的表述方法更为电气工程专业学生熟知，西戈曼没有耽迷在数学的象牙塔中，但他相当漂亮地处理了这三个“遗漏的”专题。

§ 2 傅里叶级数

2.1 引言

这里所用的主要数学工具是傅里叶级数和傅里叶积分，这是150多年前（1822年）由J. B. 傅里叶首先发表的。相同题材的书籍目前仍几乎每年出版一本。富兰克林（Franklin）的袖珍本价格便宜，勃莱斯威尔（Bracewell）的精装本着重于应用，并有很好的例解。电气工程学生也许爱读帕波莱斯（A. Papoulis）的《系统和变换，及其在光学中的应用》。

傅里叶级数用来表示周期函数很有用。周期函数 $f(x)$ 的定义