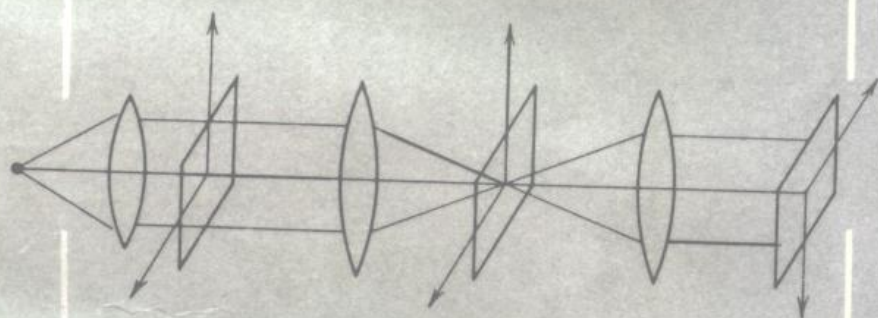


光学工程原理

Principles of Optical Engineering

〔美〕 杨振寰 邱炎春 著
路明哲 杨翔鹏 战元龄 译



南开大学出版社

DE 111.8

光 学 工 程 原 理

Principles of Optical Engineering

[美] 杨振寰 邱炎春 著

路明哲 杨翔鹏 战元龄 译



南 开 大 学 出 版 社

[津]新登字 011 号

内 容 简 介

本书译自美国 1990 年出版的系统阐述光学工程原理的专著。内容包括:线性系统、经典光学的基本概念、光的电磁理论以及光电探测、激光、全息术、信号处理和光纤的理论和应用。本书取材新颖、恰当反映了当前光学工程的前沿及其发展趋向。

本书可作为高校有关专业的教师、大学生的教学用书,也可供从事光学工程的人员及对光学工程感兴趣的各级科技人员参考。

Francis T.S. Yu I.C. Khoo
Principles of Optical Engineering

John Wiley & Sons 1990

“All rights reserved, Authorized translation from English language edition published by John Wiley & Sons, Inc.”

光学工程原理

[美] 杨振寰 邱炎春 著
路明哲 杨翔鹏 战元龄 译

南 开 大 学 出 版 社 出 版
(天津八里台南开大学校内)
邮编:300071 电话:3358542
新华书店天津发行所发行
南 开 大 学 印 刷 厂 印 刷

1995 年 3 月第 1 版 1995 年 3 月第 1 次印刷
开本:850×1168 1/32 印张:11.25 插页:2
字数:281 千 印数:1-3000

ISBN 7-310-00662-2
Z·81 定价:14.20 元

71.2137

2

0176/13

译者的话

随着我国教育改革的深入发展,对高等院校提出了培养基础型人材和应用型人材的要求,并迫切需要培养应用型人材的教材。美国宾州州立大学杨振寰教授和邱炎春教授基于他们在电机系多年从事科研和教学而撰写的“光学工程原理”一书是一本为培养非光学专业应用型人材难得的好教材和参考书。它内容精炼、新颖、在对庞杂光学内容进行筛选方面,在反映和联系现代光学的新发展和新应用方面都堪称典范。本书名称也恰当地反映了其内容,“工程”充分反映了其内容的实用性;而“原理”又充分反映出它不纠缠于具体工程问题,而是抽取了近代光学所涉及的基本概念和原理。

为将本书介绍到国内,征得杨振寰教授的同意,并在他的大力协助下,经 John Wiley & Sons Inc. 出版社的许可,现将此书译成中文,以期对我国光学工程人材的培养能有所帮助。

杨振寰教授和邱炎春教授还为中译本写了序言。在此,我们对杨振寰教授和邱炎春教授以及 John Wiley & Sons Inc. 出版社表示深切的谢意。

在本书的翻译出版过程中,还得到了母国光教授的决定性支持和认真指导。在此,特向母先生表示衷心的感谢。

本书由路明哲译第一、四、七、九章,杨翔鹏译第二、三、八章,战元龄译第五、六、十章并校阅全书。

由于水平所限,译文中不当之处,敬请读者批评指正。

译者

英文版序言

与电子学结合,使光学在包括基础科学和实际光学系统领域的广泛应用起着从未有过的越来越重要的作用。这一趋势主要是由于覆盖紫外至远红外区的各种激光器的发现和迅速发展,以及与之平行进行的对固体材料和光学材料的更为广泛的开发。光纤和半导体激光器进入通讯领域也促进了光学和通讯工程间的深刻关系。从来没有这么多的电机工程人员像现在这样从事现代光学系统的研究与开发,而且今后将不断增加。我们撰写本书的目的就是为给大学生介绍现代光学的基本概念,并为有兴趣的大学生学习高等光电子学课程打下基础。本书的内容主要是为三、四年级的学习工程的大学生设计的。

当本书还处于手稿形式时,就曾用作大学生课程的教材,选材是为学习电机工程的三年级大学生第一学期用的。也可用于其它学科。本书共有十章。第一章讨论线性系统变换,这些变换的讨论是学习光电系统方法的基础;第二章和第三章回顾经典光学的重要基本概念;第四章讨论现有的某些光探测器和光电器件;第五章阐述光的电磁性质;第六章讨论衍射光学原理;第七章阐述激光器的基本原理;第八章介绍波前重构现象;第九章回顾光学信号处理的基本系统;第十章为光纤的基础导论。我们的经验表明,不需作重要删节,在一学期内即可授完全书的内容。本书没有包括现代工程光学的许多领域,而是选取了我们认为对学习电机工程的大学生来说是重要而又有用的基础材料。

光学工程目前处在将以空前规模地被广泛应用的初期。我们

相信,本书作为一本精确的现代教科书导论,将为进一步学习令人激励的光电领域的高等课程打下基础。鉴于在本领域已有大量文献,对在本书各章中可能(也是不可避免的)没有引用某些合适的文献预先表示歉意。

对我们的大学生们多年来为完成本书所给予的积极合作和反映的意见表示感谢;我们也感谢 Debby Pruger 女士对手稿所作的耐心打印;尤其感谢我们的家庭对我们的坚定支持。

FRANCIS T.S. YU(杨振寰)

IAM-CHOON KHOO(邱炎春)

1990 年 1 月于宾州大学校园

为中译本写的序

我们很高兴地得知《光学工程原理》一书即将译成中文,并由南开大学出版社出版。本书若能对中国光学工程领域的实际应用及教学和科研工作有所帮助的话,我们将感到莫大快慰。

现代光学正由于激光技术及光纤通讯技术的迅速发展而在科技理论和应用中发挥日益重要的作用。我们编著这本书的目的就是要大学生能够了解现代光学的基本概念,并为有兴趣的学生向更高知识水平迈进打个基础。我们还希望这本书能成为在这一领域或相邻领域工作的研究人员及工程技术人员的一本内容较新、较全面的参考书。

本书共分为十章。第一章:阐述线性系统的基本概念及相应的傅里叶变换;第二章和第三章:对经典光学的基本概念进行简单回顾;第四章:介绍一些光电探测器件和电子光学器件;第五章及第六章:有关光的电磁场理论;第七章:叙述激光的一些基本概念;第八章:简单介绍全息术;第九章:扼要回顾一些基本光学信息处理系统;第十章:可以认为是光纤理论入门。

我们俩人中杨振寰教授曾多次访问中国,并担任南开大学客座教授。南开大学出版社曾于1986年出版了他所著《光学信息处理》一书的中译本。此次承蒙中国学者的再次辛勤努力,使《光学工程原理》(中译本)得以出版,我们要在此向本书的中文翻译者表示由衷的感谢,并愿借此机会向热情接待过我们的中国科学界的

同事,及热心科技交流的南开大学出版社致以敬意。

我们对本书中存在的疏漏及不妥之处表示歉意,并殷盼指正。

楊振寰
邱炎春

1992年4月26日

于宾州大学校园

目 录

第一章 线性系统变换	(1)
1.1 线性空间不变系统	(1)
1.2 傅里叶变换和傅里叶谱	(6)
1.3 狄喇克 δ 函数	(10)
1.4 卷积与相关	(13)
1.4.1 卷积	(13)
1.4.2 相关	(16)
1.5 傅里叶变换的性质	(20)
1.5.1 傅里叶变换性质	(21)
1.5.2 倒易平移性质	(23)
1.5.3 傅里叶变换的尺度变化	(24)
1.5.4 卷积性质	(27)
1.5.5 互相关性质	(29)
1.5.6 自相关性质	(31)
1.5.7 守恒性质	(32)
1.5.8 各种对称性	(34)
参考文献	(36)
习题	(36)
第二章 反射和折射原理	(39)
2.1 斯涅耳折射定律	(40)

2.2 惠更斯原理	(43)
2.3 折射和反射	(45)
2.4 球面波和成象	(47)
2.5 全反射和色散	(52)
参考文献	(59)
习题	(60)
第三章 透镜和象差	(62)
3.1 成象	(62)
3.2 单透镜	(67)
3.3 薄透镜引起的位相延迟	(71)
3.4 初级象差	(76)
3.5 分辨极限	(83)
参考文献	(88)
习题	(88)
第四章 探测器和器件	(92)
4.1 人眼	(92)
4.2 显微镜和望远镜	(96)
4.3 光探测器	(99)
4.3.1 光电倍增管	(99)
4.3.2 光电导探测器	(102)
4.3.3 光电二极管	(103)
4.4 探测方式	(105)
4.4.1 噪声源	(107)
4.4.2 灵敏度	(108)
4.5 感光胶片	(111)

4.6 电光器件	(118)
4.6.1 光塑器件	(119)
4.6.2 泡克耳斯读出光调制器	(120)
4.6.3 声光调制器	(123)
4.6.4 液晶光阀	(124)
4.6.5 磁光调制器	(125)
4.6.6 微通道板调制器	(127)
4.6.7 液晶电视	(129)
4.6.8 电荷耦合器件	(131)
参考文献	(133)
习题	(134)
第五章 电磁理论	(136)
5.1 线性、各向同性、均匀介质的麦克斯韦方程	(138)
5.2 波动方程和极化	(142)
5.3 标量势和矢量势	(144)
5.4 辐射的经典理论	(148)
5.5 电偶极子辐射	(153)
5.6 偏振	(156)
5.7 再论反射和折射	(159)
5.8 单位制	(164)
参考文献	(167)
习题	(168)
第六章 衍射	(171)
6.1 夫琅和费衍射和菲涅耳衍射	(171)
6.2 菲涅耳 - 基尔霍夫积分	(174)

6.3	夫琅和费衍射中的傅里叶变换	(179)
6.4	菲涅耳波带片	(182)
6.5	部分相干性	(187)
6.6	空间相干性和时间相干性	(194)
6.6.1	空间相干性	(195)
6.6.2	时间相干性	(197)
6.7	相干性的测量	(201)
	参考文献	(206)
	习题	(206)
第七章	激光器	(212)
7.1	自发发射和受激发射	(214)
7.2	谱线展宽	(217)
7.3	激光器的工作原理和条件	(220)
7.4	激光器的种类和特性	(225)
7.5	纵模和横模	(231)
7.5.1	相干长度	(233)
7.6	激光输出的调制	(237)
7.6.1	Q 开关	(237)
7.6.2	锁模	(238)
7.7	电光调制	(241)
	参考文献	(244)
	习题	(245)
第八章	全息术	(247)
8.1	轴上全息术	(248)
8.2	离轴全息术	(255)

8.3 全息放大率	(264)
8.4 反射全息术	(269)
8.5 彩虹全息术	(273)
8.6 一步彩虹全息图	(279)
8.7 彩色全息术	(284)
参考文献	(287)
习题	(287)
第九章 信号处理	(293)
9.1 相干光和非相干光照明的光学系统	(293)
9.2 相干光学信号处理	(299)
9.3 复空间滤波器的合成	(304)
9.4 联合变换相关器	(307)
9.5 白光光学信号处理	(312)
参考文献	(318)
习题	(318)
第十章 纤维光学概要	(323)
10.1 光纤结构	(323)
10.2 光纤中的色散和衰减	(326)
10.3 模式描述	(332)
10.4 光纤的类型	(335)
10.5 光纤通讯和分布系统中应用的部件	(339)
10.5.1 连接器和耦合器	(341)
10.5.2 开关、中继器和复用器	(343)
参考文献	(345)
习题	(345)

第一章 线性系统变换

一般说来,一个光学系统可以由一个输入-输出系统的方框图表示。在大多数情况下,系统理论的概念能够直接用于光学成像和处理系统中,但除了对几个特例外,现在还没有通用的技术来求解非线性光学系统。非线性光学系统的问题一般采用图解和近似方法进行求解,虽然任何一个光学系统都不是严格线性的,但许多光学系统可以当作线性系统来处理,并可用线性系统分析方法对其加以分析。

在光学系统分析中经常涉及到线性空间不变的概念,本章的目的是介绍一些基本的概念。由于大多数光学系统用两维的空间变量描述,故在本书的以下各部分中将采用二维符号。

1.1 线性空间不变系统

众所周知,一个物理系统的性能由系统的输入与相应的输出之间的关系来描述,如图 1.1 所示。假设输出响应与输入都是可测量的量,设输入 $f_1(x, y)$ 的输出响应为 $g_1(x, y)$, $f_2(x, y)$ 的输出响应为 $g_2(x, y)$,输入与输出的关系可以表示成以下形式:

$$f_1(x, y) \rightarrow g_1(x, y) \quad (1.1)$$

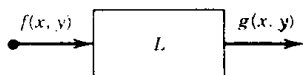


图 1.1 物理系统的框图表示

和

$$f_2(x, y) \rightarrow g_2(x, y) \quad (1.2)$$

其中 (x, y) 为二维空间坐标系统。

如果这两个输入的和作为物理系统的输入时, 相应的输出响应则是 $g_1(x, y)$ 和 $g_2(x, y)$ 的线性组合, 即:

$$f_1(x, y) + f_2(x, y) \rightarrow g_1(x, y) + g_2(x, y) \quad (1.3)$$

方程(1.3)及(1.1), (1.2)表示了线性系统的相加性, 也称作**叠加性**。换句话说, 满足叠加原理是一个物理系统作为线性系统的必要条件, 所谓**叠加原理**就是系统中的一个输入并不影响其它输入的响应。

若系统的输入为 $Kf_1(x, y)$ 时, K 为任意常数, 系统的输出响应应为 $Kg_1(x, y)$,

$$Kf_1(x, y) \rightarrow Kg_1(x, y), \quad (1.4)$$

则称系统具有**均匀性**, 亦即线性系统能够保持输入信号的缩放因子不变。一个物理系统只有同时具有式(1.3)和式(1.4)所示的叠加性和均匀性时, 这个系统才是线性系统。

具有常参数的线性系统还有另一个重要的物理特性——**空间不变性**, 它类似于电学网络中的**时间不变性**。如果相对于一个输入信号, 输出响应保持不变, 则称此物理系统具有空间不变性, 空间不变系统满足的条件为: 若

$$f(x, y) \rightarrow g(x, y)$$

则

$$f(x - x_0, y - y_0) \rightarrow g(x - x_0, y - y_0) \quad (1.5)$$

其中, $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$ 分别为输入信号和输出响应, x_0 和 y_0 为任意常数。具有式(1.5)所示的空间不变性的线性系统称作**线性空间不变系统**。

值得注意的是, 线性空间不变的概念在光电系统分析中十分

重要,另外,这个性质也可对复杂公式进行简化。

例 1.1

设有一个理想的线性位相低通滤波器,其振幅和位相分布分别为:

$$A(\omega) = \begin{cases} A, & |\omega| \leq |\omega_c| \\ 0, & |\omega| > |\omega_c| \end{cases}$$

和

$$\phi(\omega) = -t_0\omega,$$

其中, ω 的单位为弧度每秒, t_0 是一个任意的正常数。为证明这是线性滤波器,设输入信号 $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$ 为

$$f_1(t) = A\sin\omega_1 t, \quad |\omega_1| \leq |\omega_c|$$

和

$$f_2(t) = B\cos\omega_2 t, \quad |\omega_2| \leq |\omega_c|$$

其相应的输出响应可证明为:

$$g_1(t) = A^2\sin\omega_1(t - t_0)$$

和

$$g_2(t) = AB\cos\omega_2(t - t_0)$$

为证明这个滤波器为线性滤波器,设输入信号为 $K_1 f_1(t)$ 与 $K_2 f_2(t)$ 之和:

$$\begin{aligned} f(t) &= K_1 f_1(t) + K_2 f_2(t) \\ &= K_1 A\sin\omega_1 t + K_2 B\cos\omega_2 t, \end{aligned}$$

其中 K_1 和 K_2 为任意的常数。相应的输出响应则为:

$$\begin{aligned} g(t) &= K_1 A^2\sin\omega_1(t - t_0) + K_2 AB\cos\omega_2(t - t_0) \\ &= K_1 g_1(t) + K_2 g_2(t) \end{aligned}$$

从上式可以看出,此滤波器具有均匀性和叠加性,因此它是一个线性滤波器。

例 1.2

如果例 1.1 中的输入信号有一个 τ 的时间延迟,

$$f'_1(t) = A \sin \omega_1(t - \tau) = f_1(t - \tau),$$

则输出响应可以表示成:

$$g'_1(t) = A^2 \sin \omega_1(t - \tau - t_0) = g_1(t - \tau),$$

即输出响应同样有一个 τ 的延迟, 因此, 这个理想的低通滤波器是一个线性时间不变滤波器。

应该指出, 线性概念既可用于空间域也可用于时间域。

线性空间不变系统的明显特征之一是系统的**传递函数**可以由**空间脉冲响应**唯一地描述。与时间脉冲响应 $h(t)$ 不同, 空间脉冲响应 $h(x, y)$ 是二维空间变量 x, y 的函数。换言之, 如图 1.2 所示, 当一个脉冲信号 $\delta(x, y)$ 作用于线性空间不变系统, 其输出响应就是系统的空间脉冲响应, 线性空间不变系统的空间脉冲响应可以由一个脉冲响应唯一地描述, 这是线性空间不变系统的重要性质。空间脉冲响应的傅里叶变换则为**系统的传递函数** $H(p, q)$,

$$H(p, q) = \iint_{-\infty}^{\infty} h(x, y) \exp[-i(px + qy)] dx dy, \quad (1.6)$$

其中, p, q 是空间角频率变量, 其单位为弧度每单位长度, 相当于时域中用弧度/时间表示的角频率 ω , 傅里叶变换的概念将在随后的章节进行讨论。

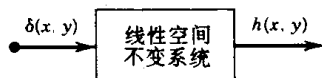


图 1.2 空间脉冲响应的描述

例 1.3

设例 1.1 中的理想低通滤波器的输入信号为 $\delta(t)$,