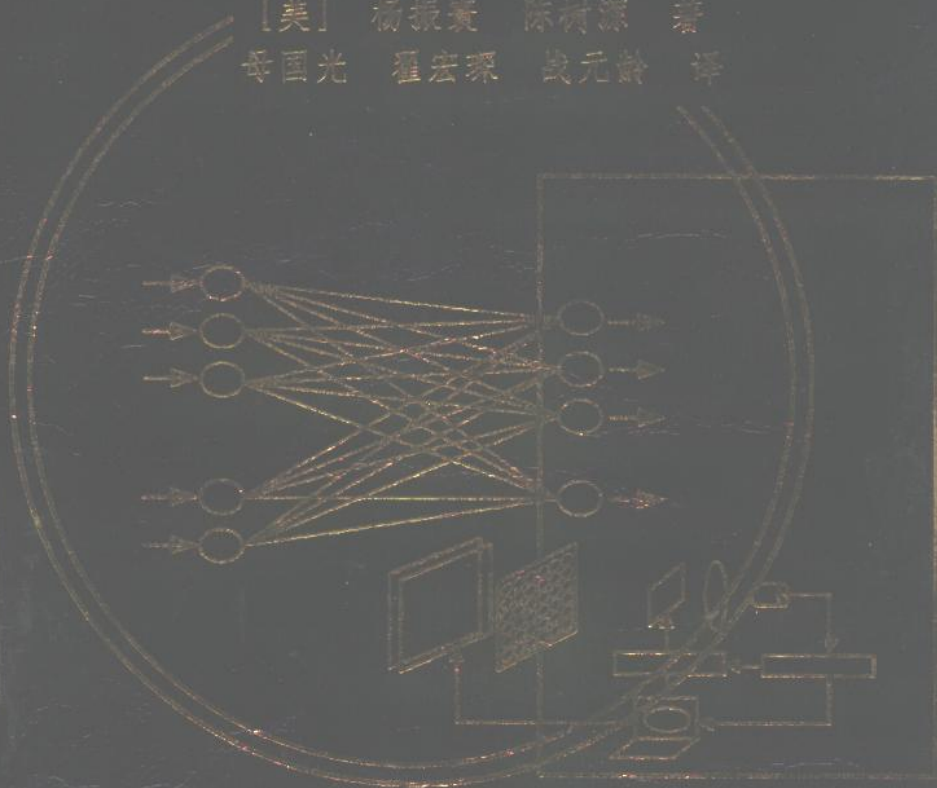


光学信号处理、计算 和神经网络

Optical Signal Processing
Computing and Neural Networks

[美] 杨振寰 陈树源 著
母国光 翟宏琛 战元龄 译



光学信号处理、 计算和神经网络

[美] 杨振寰 陈树源 著
母国光 翟宏琛 战元龄 译

新 时 代 出 版 社

· 北京 ·

著作权合同登记 图字:军-1997-001

图书在版编目(CIP)数据

光学信号处理、计算和神经网络/母国光等译. —北京:
新时代出版社,1997. 5

ISBN 7-5042-0338-6

I. 光… II. 母… III. ①通信光学-信号处理 ②通信光
学-计算 ③通信光学-神经网络 IV. TN911. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 00037 号

新时代出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 14 365 千字

1997 年 5 月第 1 版 1997 年 5 月北京第 1 次印刷

印数:1—1000 册 定价:30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

译者的话

美国宾夕法尼亚州立大学杨振寰教授于 80 年代初著的《光学信息处理》一书,由母国光等翻译,于 1986 年由南开大学出版社出版中译本后,在我国光学界引起了很大的反响。

自 80 年代中期以来,光学信息处理及与之相关的光计算和光学神经网络又得到了重要发展。所用空间光调制器、探测器和光折变晶体材料也有重大进展。为反映该领域的最新科研成就,杨振寰教授和陈树源博士又撰写了《光学信号处理、计算和神经网络》这部新作。这是一部反映该领域研究前沿的力作,对其当代的发展作了全面综合的论述。

为将这部具有权威性的力作介绍到国内,征得杨振寰教授的同意,并且在他的大力协助下,经 John Wiley & Sons 出版社的许可,现将此书译成中文,由新时代出版社出版,以期对我国在光学信号处理、光计算和光学神经网络等领域的发展有所帮助。

杨振寰教授和陈树源博士还为中译本写了序言。在此,我们对杨振寰教授和陈树源博士以及 John Wiley & Sons 出版社表示深切的谢意。

我们也衷心感谢新时代出版社在此书出版过程中所给予的大力支持。

本书由母国光译第二、三章,翟宏琛译第五、七、八、九章,战元龄译第一、四、六章,并由母国光校阅全书。

对于原书中的一些印刷错误,已按原作者提供的勘误表作了修正。

由于水平所限,译文中的不当之处,敬希读者批评指正。

译者

中译本序

现代光学的发展在很大程度上依赖于对光的电磁波性质的理解。激光技术和光纤通信技术的出现可以认为是电子学概念和技术在光学领域上的扩展和结合,同时光学又赋予这些领域一些新的、独特的性质。计算机和人工智能技术的迅速发展和广泛的应用前景已倍受重视。光学技术在高速、并行信息处理和解决时钟扭曲问题方面所提供的新的可能途径,使光学和电子学在这一领域上的再一次结合具有重要的意义。

我们编著这本书的目的就是要使电机工程和物理系的大学生能够了解和掌握现代光学的一些基础知识及光学信息处理、光计算和神经网络的特点,同时也介绍一些在这些领域中光学技术的应用和最新进展,为有兴趣在此方面开展研究的学生起一个引导作用。我们还希望这本书能够成为在这一领域或相关领域工作的研究人员及工程技术人员的一本内容较新的参考书。

本书共分为九章:第一章阐述光学的相干性及光学变换。第二章及第三章介绍各类光学信号处理系统及其应用。第四章为部分相干光的处理。第五章介绍一些空间光调制器和光电检测器件。第六章讨论光电混合型信号处理系统。第七章讨论了光折变晶体在光学信号处理中的应用。第八章介绍数字光计算的方法。第九章分析了光学神经网络的模型、结构和实现方法。

作者之一的杨振寰教授曾多次到南开大学访问讲学,担任南开大学现代光学研究所的客座教授。双方之间的友谊和学术交流始于1980年母国光教授在宾夕法尼亚州立大学的访问研究。在中国同行的努力和帮助下,南开大学出版社于1986年和1995年先后出版了现代光学专著《光学信息处理》和《光学工程原理》的中译

本。此次欣闻新时代出版社将再次把我们的著作《光学信号处理、计算和神经网络》介绍给中国科技界同行,特此向本书的中文译者和出版者表示衷心的感谢,感谢他们的辛勤劳动和对国际学术交流的大力支持,并愿借此机会向中国科技界同行致意。本书若能对中国现代光学领域的教学和科研有所帮助,将是我们的莫大荣幸。

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

陈树源

前 言

光学处理器能完成的复杂计算运算是数不尽的,它的成功是基于光的奥妙的衍射现象。光学处理器的根本优点是能以复振幅、并行、大容量、高速度和巨量互连来处理信号。业已证明,许多处理运算采用光学技术是更有效的,例如傅里叶变换、卷积、相关以及空间互连等。然而,电子计算机的主要优点是它的灵活性、可编程性和可存取性。那么现在人们要问,“能否把光学的有效运算功能和电子学的灵活性结合起来,建立一种实用的混合系统,以满足计算上的需求?”对该问题的回答是肯定的。

近年来,光学处理和光计算间的奥妙关系在电子工程师中激起了强烈的兴趣。这种势头仍在继续。这不仅是因为光学系统能完成某些复数运算,也在于基础的光学理论类似于系统理论。由于工程应用上的广泛需求,约在10年前我们出版了《光学信息处理》一书。那主要是基于我们的授课讲稿而撰写的。由于这一领域的发展非常迅速,该书已落后于目前的研究趋势。为弥补这一差距,我们现在更新了书的内容。

作为一般的背景知识,本书第一章介绍了基础的相干理论和光学变换现象;第二章引入了光学信号处理和结构的基本概念;第三章介绍了所选取的相干光学的一些应用;第四章介绍了基础光学信号处理的背景知识;在第五章中我们开始讨论空间光调制器和探测器的进展,它们是用光学进行实时处理和计算的关键器件;第六章给出了用这些器件所建立的各种混合光学结构;第七章讨论了光折变晶体在光学信息处理中的应用;第八章讨论数字—光学计算;最后在第九章中讨论了光学神经网络,给出了它的各种结构、设计和模型。

我们撰写此书的目的是:在现代光学信息处理和光计算方面为大学生们打下一个广泛的基础,并为有兴趣的技术人员提供一本最新的参考书。本书的材料在宾夕法尼亚州立大学电子和计算机工程系用作两学期课程的内容,也用作附加的讲座课的内容。学生们大多是高年级的本科生和一年级的研究生。根据我们的经验、不作任何重要的删减,在两学期内可讲授完全书的内容。要强调的是,本书无意概括光计算和光学处理的广阔内容,而只是局限于介绍具有显著重要性的那些方面。

鉴于在这一领域已有大量的研究成果发表,本书不可能全部予以引用。

最后,对我们学生们的不懈的兴趣、热情和推动表示感谢。没有他们的支持,本书是不可能完成的。我们也感谢 Debby Pruger 女士对部分手稿的打印。尤其感谢我们的家属在我们撰写本书过程中所给予的鼓励、耐心和支持。

1992年10月于

加利福尼亚圣约瑟
宾夕法尼亚州立大学校园

Francis T. S. Yu(杨振寰)
Suganda Jutamulia(陈树源)

FRANCIS T. S. YU
SUGANDA JUTAMULIA
Optical Signal Processing
Computing and Neural Networks

John Wiley & Sons, Inc. 1992

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

美国 John Wiley & Sons 出版社授权中国新时代出版社出版发行中译本。本书根据英文本 1992 年第一版译出。

内 容 简 介

光学信息处理、光计算和光学神经网络是光学中新兴起的学科,是信息科学和现代光学的重要组成部分。

本书译自美国1992年出版的一本系统阐述光学信号处理、光计算和光学神经网络的著名专著。内容包括光学信号处理、部分相干处理、光电混合信号处理及其应用、用于光学信号处理的空间光调制器、探测器和光折变晶体、数字光计算和光学神经网络。

本书可作为高等学校有关专业的本科生、研究生、教师的教学用书,也可供从事光学科学的研究人员及对光学信息科学感兴趣的各级科技人员参考。

ISBN 7-5042-0338-6/O·8

定价:30.00元

目 录

第一章 部分相干性和光学变换	(1)
1.1 部分相干性	(1)
1.2 空间相干性和时间相干性	(6)
1.3 系统变换	(10)
1.4 用薄透镜实现位相变换	(13)
1.5 菲涅耳-基尔霍夫理论	(17)
1.6 用透镜作傅里叶变换	(20)
参考文献	(23)
习题	(24)
第二章 光学信号处理	(35)
2.1 相干光和非相干光处理器	(35)
2.2 傅里叶变换处理器	(39)
2.3 复空间滤波器的综合	(40)
2.4 联合变换处理器	(43)
2.5 用面积调制进行光学信号处理	(46)
2.6 最佳空间滤波	(49)
2.7 非常规的联合变换相关器	(52)
参考文献	(59)
习题	(59)
第三章 光学信号处理的应用	(72)
3.1 综合孔径雷达	(72)
3.2 逆综合孔径雷达	(78)
3.3 模糊图像的恢复	(82)
3.4 图像相减	(87)
3.5 宽带信号处理	(88)

3.6	同态滤波	(94)
3.7	梅林变换处理	(99)
3.8	圆谐展开处理	(102)
3.9	哈夫变换	(106)
	参考文献	(109)
	习题	(110)
第四章	部分相干处理	(123)
4.1	部分相干情况下的光学处理	(123)
4.2	用非相干光作复振幅处理	(126)
4.3	白光光学处理	(129)
4.4	光源编码和图像采样	(130)
4.5	噪声特性	(133)
4.6	应用	(141)
	参考文献	(156)
	习题	(157)
第五章	空间光调制器和探测器	(167)
5.1	声光调制器	(168)
5.2	磁光调制器	(170)
5.3	普克尔读出光调制器	(172)
5.4	微通道板调制器	(174)
5.5	液晶光阀	(176)
5.6	液晶电视	(178)
5.7	可变形镜器件	(181)
5.8	光盘	(182)
5.9	光塑器件	(185)
5.10	感光胶片	(186)
5.11	电子捕获材料	(192)
5.12	光折变材料	(195)
5.13	电荷耦合器件	(197)
5.14	量子阱调制器	(198)
	参考文献	(201)
	习题	(202)

第六章 混合光学信号处理	(213)
6.1 基于微型电子计算机的光学处理器	(213)
6.2 可编程联合变换相关器	(215)
6.3 高效联合变换相关器	(220)
6.4 自主式目标跟踪	(223)
6.5 数据联合多目标跟踪	(231)
6.6 声光空间积分器	(237)
6.7 多频移键控信号探测	(242)
6.8 基于光盘的相关器	(247)
参考文献	(250)
习题	(251)
第七章 光折变晶体信号处理	(259)
7.1 位相共轭光学相关器	(259)
7.2 可再建的互连	(265)
7.3 多重光折变匹配滤波器	(278)
7.4 光学新型滤波器	(284)
7.5 使用厚晶体的紧密联合变换相关器(JTC)	(289)
参考文献	(292)
习题	(294)
第八章 数字-光学计算	(296)
8.1 投影逻辑	(297)
8.2 偏振逻辑	(302)
8.3 电子阱逻辑	(307)
8.4 符号替代逻辑	(311)
8.5 全息逻辑	(315)
8.6 基于光学双稳态的逻辑	(316)
8.7 光学互连和完善混洗	(319)
8.8 矩阵-矢量乘法器及交叉互连开关	(322)
8.9 收缩处理器及数字变换	(324)
8.10 矩阵-矩阵乘法器	(327)
8.11 专家系统及人工智能	(331)
参考文献	(339)

习题	(342)
第九章 光学神经网络	(353)
9.1 神经网络的特点	(353)
9.2 光学联想记忆	(356)
9.3 Hopfield 模型	(362)
9.4 背传模型	(364)
9.5 自适应光学神经网络	(368)
9.6 正交投射算法	(371)
9.7 多层识别算法	(375)
9.8 中间图样联想模型	(377)
9.9 异联想模型	(383)
9.10 空-时均分算法	(387)
9.11 紧凑的光学神经网络	(392)
9.12 信息存储能力	(394)
9.13 矩恒定神经计算	(399)
9.14 自组织神经网络	(404)
9.15 Hamming 网络的光学实现	(414)
参考文献	(422)
习题	(425)

第一章 部分相干性和光学变换

相干光学信号处理器能完成大量的复杂处理运算。它的成功首先是基于光的相干性质。因此,我们从光的部分相干性的基础问题开始进行讨论。对有一个或二个变量的函数,光学信号处理器能实现其任意的线性运算。它的基本优点是能实现需要应用线性系统理论的复杂光学变换。在这章里我们也要讨论基本的光学变换。实际上大多数光学信号处理器都可用线性模拟系统来表示。

1.1 部分相干性

若两光源发出的辐射之间保持有固定的位相关系,就称它们是**互相干的**。因此,若一个扩展光源上的所有点之间都有固定的位相差,就称该扩展光源是相干光源。我们现来开始讨论部分相干性。

在麦克斯韦的经典电磁辐射理论中,通常假定电场和磁场在任意位置上总是可测量的。因此,在这些情况下,不需要考虑部分相干理论。然而还有不能假定场为已知情况,此时应用部分相干理论则往往是有益的。例如,若要确定由多个光源发出的辐射所产生的衍射图样,不考虑各个光源间的相干度是得不到精确结果的。然而在这种情况下,希望得到的是总的平均效果,即表示各光源的这种任意组合所产生的**统计上最接近的结果**。因此,提供统计描述比详尽地了解波场的动态特性更有用。

我们就用这种系统平均来处理部分相干性。假设电磁波场在空间传播,如图 1.1 所示,其中 $u_1(t)$ 和 $u_2(t)$ 分别表示位置 1 和位置 2 的**瞬时波扰动**。选择二阶矩作为取平均的量,这也是为什么称

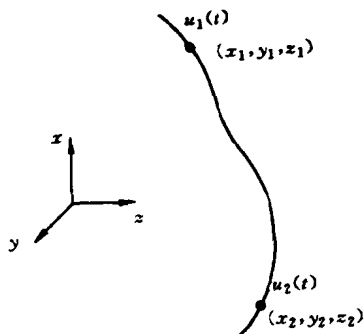


图 1.1 波阵面在空间中的传播

作互相干函数的原因。该函数如下定义：

$$\Gamma_{12}(\tau) \triangleq \langle u_1(t+\tau)u_2^*(t) \rangle \quad (1.1)$$

其中星号表示复共轭， $\Gamma_{12}(\tau)$ 是时延为 τ 时这两点间的互相干函数。角括号 $\langle \rangle$ 表示时间平均，它可写作

$$\Gamma_{12}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u_1(t+\tau)u_2^*(t) dt \quad (1.2)$$

显然，式(1.2)所定义的互相干函数实际上就是复扰动 $u_1(t)$ 和 $u_2(t)$ 间的时间互相关函数。

因此，归一化互相干函数可定义为

$$\gamma_{12}(\tau) \triangleq \frac{\Gamma_{12}(\tau)}{[\Gamma_{11}(0)\Gamma_{22}(0)]^{1/2}} \quad (1.3)$$

其中 $\Gamma_{11}(\tau)$ 和 $\Gamma_{22}(\tau)$ 分别为 $u_1(t)$ 和 $u_2(t)$ 的自相干函数。函数 $\gamma_{12}(\tau)$ 也可称作复相干度或相关度。

现来证明，归一化互相干函数 $\gamma_{12}(\tau)$ 可用杨氏干涉实验来测定。图 1.2 中 Σ 表示非相干准单色的光源，即它的光谱是有限宽的。由该光源发出的光照射在距光源 r_{10} 并有两个开孔 Q_1 和 Q_2 的屏上， Q_1 和 Q_2 相距 d 。通过 Q_1 和 Q_2 的光在距衍射屏 γ_{20} 处的观察屏上产生干涉图样。现假定图 1.2 中的诸参数变化时，干涉条纹的特征也会发生变化。我们采用迈克耳孙的条纹可见度作为可测量的量值，它如下定义：

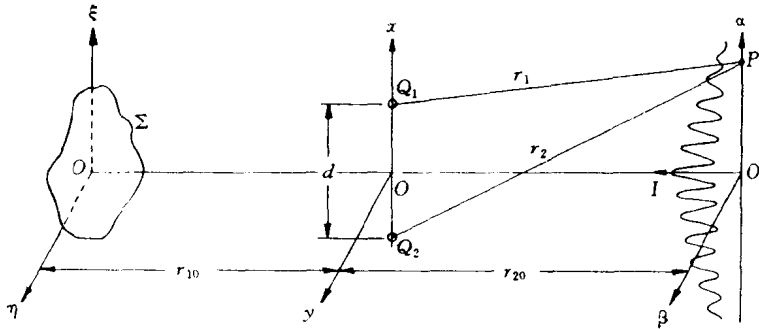


图 1.2 杨氏实验

$$v \triangleq \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (1.4)$$

其中 I_{\max} 和 I_{\min} 为条纹强度的最大值和最小值。

为使可见度是可测的,各实验条件必须使 I_{\max} 和 I_{\min} 有明确的定义,如光谱的宽度要窄,各光程的长度要接近等。现假定这些理想条件都存在。

我们开始改变参数。首先可看到,当光源 Σ 的尺寸变小时,条纹的平均可见度增大。其次,当 Σ 的大小保持不变(圆形),而两针孔 Q_1 和 Q_2 的间距增大时,可见度的变化如图 1.3 所示。当 Q_1 和 Q_2 非常靠近时,条纹间的光强降至零,可见度为 1。当 d 增大时,可见度很快降至零,即 I_{\max} 和 I_{\min} 接近相等。 d 再增大,条纹又重新出现,但它们在屏上移动了半个条纹的距离,即原先为亮条纹的地方现在为暗条纹,或相反。再继续增大两针孔的距离 d ,图中所示的可见度起伏重复出现。若保持针孔的间距不变而改变 Σ 的大小,则得类似图 1.3 的曲线。这些效应都可用范西特—泽尼克定理(见 1.2 节)来预言。可见度与针孔间距的关系曲线有时用来作为空间相干性的量度,这将在 1.2 节中讨论。这里假定 r_{10} 和 r_{20} 两者都比针孔的间距 d 和光源的尺寸大得多。此外, r_{10} 和 r_{20} 的变化只改变图 1.3 所示效应的大小而不改变其总的性质。

当观察点 P 不在观察屏的中心时,可见度将随光程差 $\Delta r = r_2$