

光学信息处理

第一章 序 言

光学信息处理(又称光学数据处理)是随着光学和电子学的发展而发展起来的一门新学科。光学中激光技术和全息摄影技术的出现和发展,一方面为经典光学增添了新的内容,另一方面它们也大大地促进了光学信息处理技术的发展;电子学的发展既扩大了本学科的范围,同时也提出了若干急待解决的课题。有些课题是电子学技术本身无法解决的。这样一来,它就要求助于近代光学的某些技术。电子学中的通讯理论引进到光学中来,推动了光学信息处理的发展,反过来,光学信息处理也解决了单靠电子学很难解决的若干问题,例如二维和多通道问题。

光学信息处理是一门新学科,它总共不过有百年的历史,而且获得迅速发展还是最近十几年的事情。至今在理论上和应用上仍待发展和完善。再加上它和一些邻近的学科又是密切相关的,因此,要全面地说明它的范畴是十分困难的。

一般说来,光学信息处理技术主要处理由光学、电子学和声学所获得的图像和数据,以便从中抽取我们所期望的信息,它所包含的内容主要有:

1. 通过在光学系统的光瞳面上放置掩模板或者在频谱面上放置空间滤频片,用来降低或消除使成像质量变坏的各种因素(例如像移、离焦、大气抖动,光学系统的像差、摄影胶片的颗粒噪音等),改善光学系统的传递函数,提高成像质量。

2. 用匹配滤频和光学相关等方法把淹没在各种噪音中的有用信号抽取出来,并试图恢复和探测这个信号,以便评价它的特性。

3. 用于图像识别,文字辨认,发现目标间的差别等。

光学信息处理的方法包括光学方法、电子学方法和数字计算机方法等,目前,几种方法组合运用已日渐增多。由于本学科尚处于发展阶段,因此现在就断言哪种方法更好些是比较困难的。

光学信息处理的先驱者当推德国的阿贝(Abbe),他于1873年提出了显微镜的衍射成像理论,引进了频谱的概念^[1]。而后波尔特(Porter)对此作了演示实验^[2]。他们用细丝网格作目标,用准直相干光照明该目标,这样在显微物镜的后焦平面中显示出周期网格的付里叶(Fourier)频谱,而在像平面中,被物镜所通过的各级付里叶谱分量被组合起来,形成网格的像。

1934年荷兰的F·柴尔尼克(Zernike)提出了相位对比技术^[3],他在透明的位相目标的频谱面中应用特殊的滤频片。他的实验是在相位差小于1弧度的条件下做的,这样一来,可以使透过的强度和相位近似为线性关系,从而实现了把空间相位调制转换为空间强度调制。

1946年,法国的杜斐尔(Duffieux)提出把付里叶变换应用到光学中去,同时介绍了空间滤频的概念,并且写了一本书^[4]。50年代的早期,法国巴黎大学光学学院的工作人员们就开

始在应用相干空间滤频技术方面引起积极地注意，其目的是为了改善摄影照片的质量。在这些工作者中间，最著名的是A·麦尔夏(Maréchal)^[5]。他认为照片中的质量缺陷是由成像系统的光学传递函数的缺陷所引起的。他通过在摄影照片的付里叶频谱面中放置合适的振幅衰减和相位位移板作为滤频片，用来改善成像系统的传递函数，获得了初步成功，为光学信息处理领域的进一步扩展提供了强烈地刺激。

50年代的前半期，由于通讯理论和光学的巧妙结合而获得巨大裨益，这一点已经变得越来越明显了。光学中所面临的许多工作和通讯理论中的最佳滤频问题，探测问题和评价问题等十分相似，因此二者结合就是很自然的事了。1953年，通讯理论学家P·爱里昂斯(Elias)发表了“光学和通讯理论”^[6]，把光学和通讯理论联系起来。1956年，E.L.奥奈尔(O'Neill)发表了“光学中的空间滤频”^[7]，这时候，光学和通讯理论的结合基本上完成了。这种结合大大地推动了光学信息处理的发展。

利用光学信息处理的二维性质来处理综合孔径雷达（也称侧视雷达）信号，从而获得地面目标图像，这是光学信息处理技术获得实际应用的一个光辉范例。美国密执安大学雷达实验室在L.J.库特罗纳(Cutrona)的领导下，从50年代中期就开始从事这方面的研究，几年后就获得成功。这是应用装在飞机（或其它空间载体）上的一个发射并接收微波信号的小天线，就可以获得和光学相机得到的照片相媲美的雷达像，由于它不受气候条件以及白天和黑夜的限制，相形之下，要优越于光学照相。不知道是基于保密的原因，还是基于其它什么原因，直到1966年以后才有这方面的详细报道^{[8][9][10][11][12]}。

60年代以前，由于相干长度较长的相干光很难获得，再加上空间复数滤频片制作上的困难，限制了光学信息处理的发表。激光技术和全息照相技术的出现和发展为光学信息处理提供了美好的前景。1964年，美国密执安大学的A.万道朗特(Vander Lugt)首先用全息照相方法制成用于探测目标的空间复数滤频片^[13]，为光学信息处理的关键部件——滤频片的制作提供了新的途径。虽然日本的辻内顺平于1959年用镀膜方法制出了复数滤频片^[14]，但这个方法仅适用比较特殊的情况，无甚普遍意义。以后，陆续地发表了许多关于空间复数滤频片的制作方面的文章，提供了若干种不同的方法。例如，计算机产生的二元全息滤频片^{[15][16]}；用多次曝光形成组合光栅的方法来制作复数滤频片^{[17][18]}；仅仅用相位来获得复数滤频片^[19]，等等。

总之，最近十几年来，和全息照相一样，光学信息处理获得迅速发展，发表了近千篇论文，出版了很多专著^{[20][21][22]}和会议录^{[23][24]}。在美国春秋两季的光学年会上，光学信息处理自成一个专题已经是几年前的事情了。而且国际光学协会拟于1974年8月在澳大利亚召开光学信息处理会议。可以预见，随着光学信息处理中某些关键技术的解决，它广泛地应用于各个领域中的时候已经是指日可待了。

目前，很多国家对光学信息处理予以相当重视，尤其是美国，投入的人力很多，收效也较大。在美国密执安大学、斯坦福大学、加利福尼亚大学、罗彻斯特大学、美国国家宇航局(NASA)、IBM公司、贝尔电话实验室、美国无线电公司(RCA)等单位都开展了这方面的研究。其次，法国、日本、英国、澳大利亚、苏联、加拿大、荷兰、意大利、挪威等国家也都有光学信息处理的研究中心。

现在光学信息处理已经在若干方面获得应用，并卓见成效。其中最成功地范例是综合孔径雷达。在医学上，用光学信息处理的方法消除X光照片的半阴影，增强对比、提高分辨率^[25]。另外在不同时间拍摄人体同一部分的照片，用光学信息处理的方法找出两张照片的细

微差别,发现病变,对病人作早期诊断。在地质上,用相关探测方法来勘探石油和其它矿物^[26];在军事上,用它来发现和识别敌方目标^[27],在印刷工业中用于文字和数字的读取,识别和翻译等^[28]。尽管光学信息处理已经付诸于上述的若干应用,但是和人们对它的需求以及它本身所具有的巨大潜力和美好前景相比还相差遥远。这与其说是和光学信息处理技术的成熟程度有关,倒不如说是由于一些交接装置(或者说是转换装置)目前尚存在一定的问题。所谓的交接装置,不外是输入,输出等装置,它们的主要作用是作信息转换。目前最广泛使用的是胶片,虽然它是一种较好地记录材料,但毕竟有一些致命弱点,不能满足很多方面的要求。因此发展这些交接装置是一项十分迫切的任务。

光学信息处理这个题目太宽了,以致于不可能在这篇文章中得到全面地反映。在这里,我们仅试图介绍一下它的基本原理,而后分相关探测和像质改善这两个较大的方面加以叙述,最后想就光学信息处理的现状及发展趋势作简要评述。由于我们刚刚开始这方面工作,加上水平所限,肯定存在不少问题,敬希领导和同志们指正。

参 考 文 献

- [1] E. Abbe: *Archiv. Mikroskopische Anat.*, vol. 9, p413(1873).
- [2] A. B. Porter: *On the Diffraction Theory of Microscope Visio*, *phil. mag.*, 6 vol. 11, p154 (1906).
- [3] F. Zernike: *Das Phasenkontrastverfahren bei der Mikroskopischen Beobachtung*, *Z. Tech. Phys.*, vol. 16 p454 (1935).
- [4] P. M. Duffieux: *L'Intégrale de Fourier et ses Applications à L'Optique*, *Faculté des Sciences, Besangon*, 1946.
- [5] A. Maréchal et P. Croce: *Un Filtre de Fréquence Spatiales pour L'amélioration du contraste des Images Optiques*, *C. R. A. S Tom 237 p 607 (1953)*.
- [6] P. Elias: *Optics and Communication Theory*, *J. O. S. A.* vol. 43 p229 (1953)
- [7] E. L. O'Neill: *Spatial Filtering in Optics*, *IRE Trans. Inform. Theory*, IT-2, p56 (1956).
- [8] L. J. Cutrona, et al.: *On the Application of Coherent Optical Processing Techniques to Synthetic-aperture Radar*, *Proc. IEEE*, vol. 54, p1026 (1966).
- [9] E. N. Leith and A. L. Ingalls, "Synthetic antenna data processing by wavefront reconstruction." *Applied Optics*, vol. 7 p539 (1968).
- [10] E. N. Leith: *Optical Processing Techniques for Simultaneous Pulse compression and Beam Shearpening*, *IEEE Trans. on Aerospace & Electronic Systems*, vol. AES-4, no. 6, p879 (1968)
- [11] A. Kozma, E. N. Leith and N. G. Massey: *Applied Optics* vol. 11 p1766(1972).
- [12] W. E. Kock: *Radar and Microwave Application of Holography*, *Applications of Holography*, *Plenum Press New York* (1971).
- [13] A. Vander Lugt: *Signal Detection by Complex Spatial Filtering*, *IEEE* vol. IT-10, p139 (1964).
- [14] J. Tsujiuchi: *Correction of Optical Images by Compensation of Aberrations and by Spatial Frequency Filtering*, *Progress in Optics* vol. 1 edited by E. Wolf, *North Holland Pub. Co.* P131 (1963).
- [15] B. R. Brown and A. W. Lohmann: *Complex Spatial Filtering with Binary Masks*, *App-*

Applied Optics vol, 5 p967 (1966)

- [16] A. W. Lohmann, : Computer Generated Spatial Filters for Coherent Optical Data Processing, Applied Optics, vol. 7 p651 (1968).
- [17] S. K. Yao and S. H. Lee, : Spatial Differentiation and Integration by Coherent Optical—Correlation Method, J. O. S. A. vol. 61 p474 (1971).
- [18] D. P. Jablonowsk and S. H. Lee, : Applied Optics vol. 12 p1703 (1973).
- [19] J. P. Kirk and A. L. Jones, : Phase—Only Complex—Valued Spatial Filter, J. O. S. A. vol. 61 p1023 (1971).
- [20] A. R. Shulman, : Optical Data Processing, John Wiley & Sons, Inc. New York (1970).
- [21] P. Kendall, : Coherent Optical Computers, McGraw—Hill Book Company New York (1972).
- [22] J. W. Goodman, : Intraductios to Fourier Optics," McGraw—Hill Book Company, New York (1968).
- [23] E. S. Barrekette and W. E. Kock, : Application of Holography Plenum Press New York (1971).
- [24] E. Camatini, : Optical and Acoustical Holography Plenum Press New York (1972).
- [25] S. K. Hilal and w. B. Seaman Applied Physical letter p371 (1970).
- [26] M. B. Dobrin, : Optical Processing in the Earth Sciences, IEEE spectrum, vol. 6 p59 (1968).
- [27] G. C. Lendaris and G. L. Stanley, : Diffraction Pattern Sampling for Automatic Pattern Recognition, Proc. IEEE vol. 58,p198 (1970).
- [28] A. Vauder Lugt, : J. O. S. A. Vol. 63. p1302 (1973).