

光学分数傅里叶变换发展历史简述

(陈天禄, 西藏大学)

分数傅里叶变换概念的提出最早可以追溯到1937年E.U.Condon的一篇论文中,他首次将傅里叶变换嵌入函数变换的连续群,用连续群的方法确定了分数傅里叶变换概念的雏形。1961年,V.Bargmann又发展了这一概念,他将分数傅里叶变换作为一种特殊的积分变换用于研究解析函数的Hilbert空间。为解决量子力学中各种条件下的Schrödinger方程,V.Namias于1980年比较系统的提出了分数傅里叶的数字定义和性质,并讨论了其本征函数。1987年,Mc.Bride和Kerr又进一步研究了分数傅里叶变换,把变换看作充分光滑函数构成的向量空间中的算子,建立了分数傅里叶变换的完整理论系统。

从1993年开始,分数傅里叶变换作为一种新的研究工具在光学领域迅速得到应用。1993年9月,H.M.Ozaktas和D.Mendlovic首次利用平方率负梯度折射率(GRIN)介质在光学上实现了分数傅里叶变换,并利用分数傅里叶变换进行分数傅里叶变换域滤波。1993年10月,A.W.Lohmann利用傅里叶变换相当于在Wigner分布函数相空间中角度为 $\pi/2$ 的旋转这一性质,将图像旋转、Wigner分布函数相空间旋转和分数傅里叶变换三个概念结合起来阐释分数傅里叶变换的物理意义,并基于此给出了实现分数傅里叶变换的单透镜和双透镜结构。至此,分数傅里叶变换开始引起光学界的广泛关注,尤其在光学信息领域受到充分的重视,1995年4月H.M.Ozaktas和D.Mendlovic总结了光学分数傅里叶变换的发展过程,研究了Fresnel衍射和光学分数傅里叶变换的关系,提出分数傅里叶光学(Fractional Fourier Optics)这个新概念,目前,分数傅里叶光学已经发展成为现代光学的一个重要分支。

1995年,D.Mendlovic等人利用分数傅里叶变换的概念,提出了分数相关的定义,并给出了可能的实现结构和相应的数值模拟结果,同年,刘树田等人研究了光学分数傅里叶变换级联的尺度问题,给出了实现分数傅里叶变换的推广结构。1995年以来,A. Shin等较为系统研究了具有轴对称性二维分数傅里叶变换,给出了在不同可调参数的光学实现结构。1996年,A. W. Lohmann基于分数傅里叶变换的思想,将光学Hilbert变换分数化,并给出相应的模拟结果。1997年,华建文等人给出了分数傅里叶变换光学实现的基本单元,提高分数傅里叶变换光学实现系统设计的自由度,同年,D. D. Dragoman等运用分数傅里叶变换研究了光束的近场和远场特性。1998年吕百达等人基于光学ABCD定理研究了一般光学系统和光学谐振腔的分数傅里叶变换表示,同年,X. E. Wang等人研究了定标分数傅里叶变换,讨论了定标参数对分数傅里叶变换的影响,并给出了实现定标分数傅里叶变换的光学系统。2000年赵道木等人利用经典的分数傅里叶变换分别研究了时域和频域的Collins公式,并说明了它与厚透镜的关系。2001年,刘书田等人提出了基于广义分数卷积算子的光学图像加密。2002年王长涛等研究了复数阶分数傅里叶变换的光学实现。曾阳素等较为系统的研究了分数傅里叶变换在光学全息、计算全息、滤波中的实际应用,并对其相关理论和技术做了较深入的探讨。2003年谢世伟等研究了变形分数相关及其光学和数字式实现¹。2004年,M. Brunel等人将分数傅里叶变换应用于部分相干光脉冲的研究。目前,光学分数傅里叶变换正在进一步发展之中,相信其研究成果将对现代光学产生深远的影响。

分数傅里叶变换引入光学已有十余年,在光学领域的诸多方面,例如在分数

傅里叶变换域滤波、光学模糊识别、光束整形、图像处理等已经有了广泛的应用。分数傅里叶变化的出现极大的丰富了我们传统信息处理、图象识别等方法，出现了多级，多通道的滤波方法，增加了滤波器设计的自由度，可以处理常规傅立叶难以处理的问题。在光学模式识别中，出现了基于分数傅立叶变化的联合分数傅立叶变换相关器，它有利于信号的实时处理。将分数傅里叶变换和相位恢复的普遍理论相结合，可以在分数傅里叶变换域中设计衍射光学元件，从而提高光束整形的自由度。从分数傅里叶变换的角度讨论透镜的成像问题，通过将适当阶的分数傅里叶变换单元串联使用，可以得到理想的成像，构成一个推广的离轴系统。此外，菲涅耳衍射，光学小波变换，Wigner 分布函数，chirp 变换等与分数傅立叶变换有着密切的联系，相应的就可以从分数傅立叶来研究这些问题。