



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101510013 B

(45) 授权公告日 2010.06.23

(21) 申请号 200910097234.1

US 2003/0063384 A1, 2003.04.03, 全文.

(22) 申请日 2009.03.30

JP 特开 2003-7610 A, 2003.01.10, 全文.

(73) 专利权人 浙江大学

审查员 张苗

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路
38 号

(72) 发明人 李奇 赵惠 冯华君 徐之海

(74) 专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限公司 33224

代理人 胡红娟

(51) Int. Cl.

G02B 27/46 (2006.01)

H04N 5/225 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101201455 A, 2008.06.18, 全文.

权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 1 页

(54) 发明名称

复合相位掩模板

(57) 摘要

本发明公开了一种复合相位掩模板,复合相位掩模板的相位分布函数包含正弦型和指数型两种函数,相位分布函数 $\theta(x, y)$ 的函数式如下:

$$\theta(x, y) = \alpha \cdot x \cdot [\exp(\beta x^2 + \exp(\beta y^2))] + \frac{1}{2} \alpha [\sin(\omega x) + \sin(\omega y)]$$

式中, $\alpha \cdot x \cdot [\exp(\beta x^2 + \exp(\beta y^2))]$ 为指数型函数,

$\frac{1}{2} \alpha [\sin(\omega x) + \sin(\omega y)]$ 为正弦型函数;其中,

α 表示指数型函数和正弦型函数的幅值, β 表示指数型函数的调制因子, ω 表示正弦型函数的角频率, x, y 为孔径平面归一化的空间坐标。本发明还公开了一种采用正弦型和指数型两种函数复合的复合相位掩模板的成像系统,该成像系统的 Fisher 信息的数值较小,对离焦不敏感,对离焦量有较好的抑制作用,具有较好的景深扩展能力。

1. 一种复合相位掩模板,其特征在于:所述的复合相位掩模板的相位分布函数包含正弦型和指数型两种函数,相位分布函数 $\theta(x, y)$ 函数式如下:

$$\theta(x, y) = \alpha \cdot x \cdot [\exp(\beta x^2 + \exp(\beta y^2))] + \frac{1}{2} \alpha [\sin(\omega x) + \sin(\omega y)]$$

式中, $\alpha \cdot x \cdot [\exp(\beta x^2 + \exp(\beta y^2))]$ 为指数型函数, $\frac{1}{2} \alpha [\sin(\omega x) + \sin(\omega y)]$ 为正弦型函数;其中 α 表示指数型函数和正弦型函数的幅值, β 表示指数型函数的调制因子, ω 表示正弦型函数的角频率, x, y 为孔径平面归一化的空间坐标。

2. 一种成像系统,由成像镜头、复合相位掩模板、图像探测器、图像处理单元组成,其特征在于:所述的复合相位掩模板的相位分布函数包含正弦型和指数型两种函数,相位分布函数 $\theta(x, y)$ 函数式如下:

$$\theta(x, y) = \alpha \cdot x \cdot [\exp(\beta x^2 + \exp(\beta y^2))] + \frac{1}{2} \alpha [\sin(\omega x) + \sin(\omega y)]$$

式中, α 表示指数型函数和正弦型函数的幅值, β 表示指数型函数的调制因子, ω 表示正弦型函数的角频率, x, y 为孔径平面归一化的空间坐标;

在成像系统中,成像目标通过成像镜头和相位掩模板后,在图像探测器上形成模糊的中间像,然后图像处理单元对中间像进行去卷积处理,最终得到聚焦清晰的图像。

复合相位掩模板

技术领域

[0001] 本发明涉及一种相位掩模板,尤其涉及一种正弦型和指数型两种函数复合的复合相位掩模板。

背景技术

[0002] 在传统的成像系统中,缩小相对孔径是扩大景深的有效方法,但这会导致系统分辨率降低,与高质量成像的目的相背。因此以波前编码为代表的新成像方法成为研究热点。利用波前编码技术制作一种相当于非球面的掩模板,物体目标经过加了掩模板的光学系统后形成一个对离焦不敏感的模糊的中间像,然后对中间像进行数字图像处理得到聚焦清晰的图像,采用这种方法可使光学系统在较大的离焦范围内其调制传递函数值变化很小(即对离焦不敏感),同时系统的传递函数在通频带内没有奇异点,这对图像恢复非常有利。

[0003] 1995年,美国Colorado大学的WT. Cathey和E. R. Dowski以及合作者开始了这方面的研究,提出了波前编码理论。借助于巧妙的数学推导,得到经典的三次方型相位分布函数掩模板。通过将此种相位板置于光路之中,传统光学系统的景深得到了极大的扩展,甚至在严重离焦的情况下依靠相应的后处理手段依然能够获得清晰的图像。2001年,Cathey和Dowski等人将注意力放到了空域,通过求解离焦点扩散函数并使之对离焦参量不敏感,发现了另外一种可以用于景深延拓的相位板,即对数相位板。同年,苏格兰Heriot Watt大学的Samir Mezouari和Andrew R. Harvey在提出了多项式型相位板,并且发展出了一种新的数学推导流程。2004年,墨西哥的Albertina Castro, Angel Saucedo以及Jorge Ojeda-Castaneda提出并详细地分析了高次方型相位板的特性。2007年,中科院上海光机所的阳国庆等人使用维纳函数在频域对波前编码系统的特性进行了相关研究,同时提出了指数型相位分布函数掩模板。

[0004] 根据相位分布函数可以确定掩模板的物理结构,例如美国罗切斯特光学中心的Wanli Chi的博士论文“Computational Imaging System for Extended Depth of Field”第四章“Lens Design and Fabrication”即全面介绍了根据相位分布函数确定掩模板面形的方法。

[0005] 波前编码成像技术通过将图像复原与光学设计相结合,在不过度牺牲光学系统分辨率和通光量的前提下可以有效地扩大光学系统的景深。科研工作者做了大量的理论分析及实验研究,肯定了波前编码成像技术所具有的强大威力,证明并且验证了景深提高10倍的效果。

发明内容

[0006] 本发明提供了一种具有较好景深扩展性能的复合相位掩模板。

[0007] 复合相位掩模板,所述的复合相位掩模板的相位分布函数包含正弦型和指数型两种函数,相位分布函数 $\theta(x, y)$ 的函数式如下:

$$[0008] \quad \theta(x, y) = \alpha \cdot x \cdot [\exp(\beta x^2 + \exp(\beta y^2))] + \frac{1}{2} \alpha [\sin(\omega x) + \sin(\omega y)]$$

[0009] 式中,其中 α 表示函数幅值, β 表示调制因子, ω 表示正弦函数的角频率, x, y 为孔径平面归一化的空间坐标。

[0010] 其中,作为优选,函数幅值 α 取值在 30 至 2000 之间,调制因子 β 取值在范围 0.3 至 2 之间。正弦型函数的角频率 ω 取值在范围在 0.3π 到 0.6π 之间比较合适,因为当 ω 取值过小复合相位板的性能改进不明显, ω 取值过大则有可能导致相位板过厚,加大了加工难度。

[0011] 一种成像系统,由成像镜头、复合相位掩模板、图像探测器、图像处理单元构成;其中复合相位掩模板的相位分布函数包含正弦型和指数型两种函数,相位分布函数 $\theta(x, y)$ 的函数式如下:

$$[0012] \quad \theta(x, y) = \alpha \cdot x \cdot [\exp(\beta x^2 + \exp(\beta y^2))] + \frac{1}{2} \alpha [\sin(\omega x) + \sin(\omega y)]$$

[0013] 式中, $\alpha \cdot x \cdot [\exp(\beta x^2 + \exp(\beta y^2))]$ 为指数型函数, $\frac{1}{2} \alpha [\sin(\omega x) + \sin(\omega y)]$ 为正弦型函数;其中 α 表示指数型函数和正弦型函数的幅值, β 表示指数型函数的调制因子, ω 表示正弦型函数的角频率, x, y 为孔径平面归一化的空间坐标。

[0014] 在各种形式相位分布函数的相位掩模板中,指数型相位掩模板不仅可实现景深扩展功能,而且对于球差、慧差、像散等像差均有较好的抑制效果,由此具有很好的应用前景。本发明在指数型函数的基础上叠加正弦分量的复合相位板具有更大的景深扩展能力。

[0015] 一种成像系统,由成像镜头、复合相位掩模板、图像探测器、图像处理单元组成。

[0016] 所述的复合相位掩模板的相位分布函数包含正弦型和指数型两种函数,函数式如下:

$$[0017] \quad \theta(x, y) = \alpha \cdot x \cdot [\exp(\beta x^2 + \exp(\beta y^2))] + \frac{1}{2} \alpha [\sin(\omega x) + \sin(\omega y)]$$

[0018] 式中, α 表示指数型函数和正弦型函数的幅值, β 表示指数型函数的调制因子, ω 表示正弦型函数的角频率, x, y 为孔径平面归一化的空间坐标;

[0019] 在成像系统中,成像目标通过成像镜头和复合相位掩模板后,在图像探测器上形成模糊的中间像,然后图像处理单元对中间像进行去卷积处理,最终得到聚焦清晰的图像。

[0020] 成像镜头可以采用现有的各种成像镜头。图像探测器可以采用 CCD 等。

[0021] 本发明一种成像系统在传统的光学成像系统中增加了一块复合相位掩模板,放置在光瞳上。当光路通过此复合相位掩模板后,光信息被编码,,即光学系统在较大的离焦范围内其调制传递函数值变化很小(即对离焦不敏感),同时系统的传递函数在通频带内没有零点或近零点。这意味着,当系统存在离焦时,超出原始系统景深范围的信息并没有丢失,只是以一种已知的方式被编码。成像在 CCD 上的是一幅模糊图像,用数字信号处理系统对它进行去卷积解码,从而恢复出锐利清晰的图像。

[0022] 在波前编码领域,Fisher 信息是评价景深扩展能力的重要指标之一。根据 Fisher 信息的定义,在理想情况下,无论离焦参量取什么值, Fisher 信息都应该等于零。因此, Fisher 信息的数值越小,就意味着相位板对离焦越不敏感,景深扩展能力越好。

[0023] 本发明采用指数型函数和正弦型函数两种函数复合的复合相位掩模板的成像系

统的 Fisher 信息曲线比采用相位分布函数为指数型掩模板的成像系统的 Fisher 信息曲线小, 具有较好的景深扩展能力。

附图说明

[0024] 图 1 是本发明一种成像系统的结构示意图;

[0025] 图 2 是采用本发明的复合相位掩模板的成像系统的 Fisher 信息曲线与采用指数型相位掩模板的成像系统的 Fisher 信息曲线的比较示意图。

具体实施方式

[0026] 一种复合相位掩模板, 复合相位掩模板的相位分布函数包含正弦型和指数型两种函数, 相位分布函数 $\theta(x, y)$ 的函数式如下:

$$[0027] \quad \theta(x, y) = \alpha \cdot x \cdot [\exp(\beta x^2 + \exp(\beta y^2))] + \frac{1}{2} \alpha [\sin(\omega x) + \sin(\omega y)]$$

[0028] 式中, $\alpha \cdot x \cdot [\exp(\beta x^2 + \exp(\beta y^2))]$ 为指数型函数, $\frac{1}{2} \alpha [\sin(\omega x) + \sin(\omega y)]$ 为正弦型函数; 其中 α 表示指数型函数和正弦型函数的幅值, β 表示指数型函数的调制因子, ω 表示正弦型函数的角频率, x, y 为孔径平面归一化的空间坐标。

[0029] 本发明的一种复合相位掩模板的面形和指数型相位掩模板的面形比较参见附图 2, 本发明的一种复合相位掩模板的面形在附图 2 中用虚线表示, 指数型相位掩模板的面形在附图 2 中用实线表示。

[0030] 成像目标 1 通过成像镜头 2 和复合相位掩模板 3 后, 在图像探测器 4 上形成模糊的中间像, 然后图像处理单元 5 进行去卷积处理, 最终得到聚焦清晰的图像 6。

[0031] 复合相位掩模板的相位分布函数包含正弦型和指数型两种函数, 相位分布函数 $\theta(x, y)$ 的函数式如下:

$$[0032] \quad \theta(x, y) = \alpha \cdot x \cdot [\exp(\beta x^2 + \exp(\beta y^2))] + \frac{1}{2} \alpha [\sin(\omega x) + \sin(\omega y)]$$

[0033] 式中, $\alpha \cdot x \cdot [\exp(\beta x^2 + \exp(\beta y^2))]$ 为指数型函数, $\frac{1}{2} \alpha [\sin(\omega x) + \sin(\omega y)]$ 为正弦型函数; 其中 α 表示指数型函数和正弦型函数的幅值, 取值为 $\alpha = 39.5748$; β 表示指数型函数的调制因子, 取值为 $\beta = 1.7705$; ω 表示正弦型函数的角频率, 取值为 $\omega = 0.5\pi$; x, y 为孔径平面归一化的空间坐标。

[0034] 本发明采用复合相位掩模板的成像系统的 Fisher 信息曲线与采用指数型相位掩模板的成像系统的 Fisher 信息曲线比较参见附图 2。采用指数型相位掩模板的成像系统的 Fisher 信息曲线如附图 2 中的实线所示, 采用本发明正弦型和指数型两种函数复合的复合相位掩模板的成像系统的 Fisher 信息曲线如附图 2 中的虚线所示。

[0035] 通过两条曲线的对比可以得出, 本发明提出正弦型和指数型两种函数复合的复合相位掩模板的成像系统的 Fisher 信息曲线明显低于指数型相位掩模板的成像系统的 Fisher 信息曲线, 而且在离焦量较大时效果更佳。

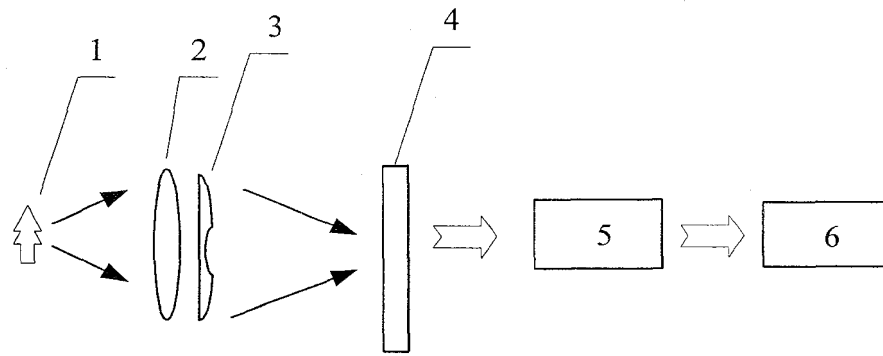


图 1

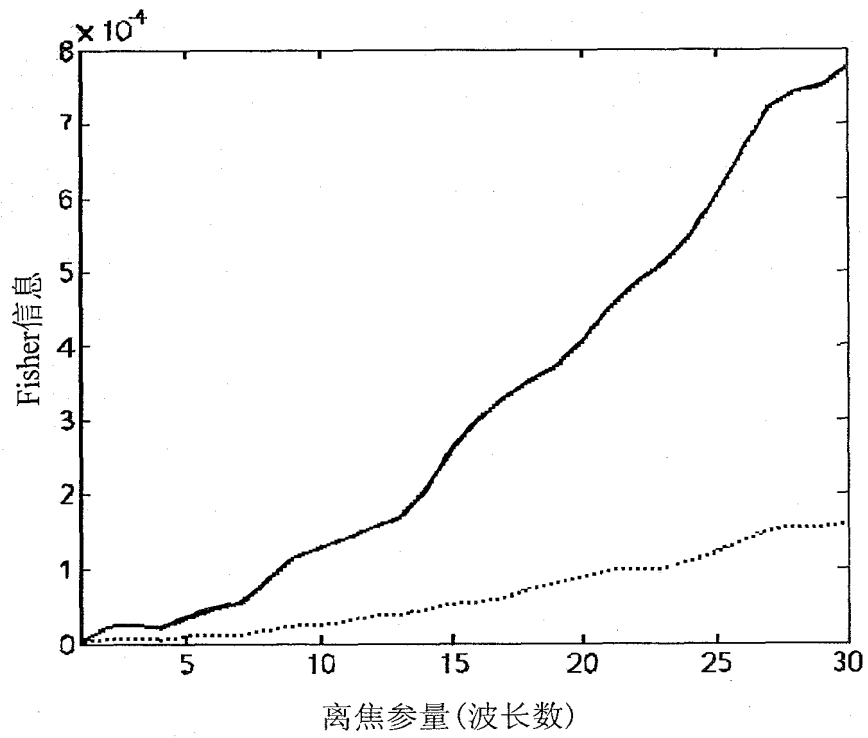


图 2