



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101976032 B

(45) 授权公告日 2013.05.08

(21) 申请号 201010552736.1

(22) 申请日 2010.11.22

(73) 专利权人 中山大学

地址 510275 广东省广州市海珠区新港西路
135 号

(72) 发明人 腾东东 王彪

(74) 专利代理机构 广州新诺专利商标事务所有
限公司 44100

代理人 张玲春

(51) Int. Cl.

G03H 1/22 (2006.01)

H04N 13/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 102081339 A, 2011.06.01,

Yasuhiro Takaki 等. Increased horizontal
viewing zone angle of a hologram by
resolution redistribution of a spatial
light modulator. 《APPLIED OPTICS》. 2008, 第

47 卷 (第 19 期),

Damon W. K. Wong 等. Redistribution
of the zero order by the use of a phase
checkerboard pattern in computer generated
holograms. 《APPLIED OPTICS》. 2008, 第 47 卷
(第 4 期),

审查员 聂泽锋

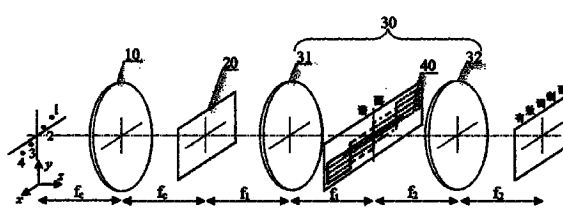
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

基于一阶谱面重组的计算全息三维图像显
示方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于一阶谱面重组的计算全息三维图像显示方法及系统。设计空间光调制器 x 方向上的像素填充因子为 0.5, 采用两个不同入射角度的照射光, 通过光阑滤除非一阶谱信息, 在保持面积不变的情况下, 将空间光调制器靶面 $M \times N$ 的分辨率在等效调制面上转换为 $(2M) \times (N/2)$, x 方向上的像素尺寸发生 0.5 倍微缩, 实现菲涅尔计算全息三维图像显示视角的双倍展宽。本发明可实现单个空间光调制器的双目可视三维图像显示, 对计算全息三维图像显示技术的实用化, 具有积极作用。



1. 一种基于一阶谱谱面重组的计算全息三维图像显示系统,其特征在于其包括:
空间光调制器,其调制面被输入二维编码信息;
准直透镜,用于将发散光束转换为系统入射光束;

谱面重组光学系统,由第一透镜和第二透镜组成,通过该第一透镜的转换,上述空间光调制器被输入的二维编码信息的傅里叶频谱分布于该第一透镜后焦面所确定的频谱面上;

两个相干点光源,经上述准直透镜转换,为上述空间光调制器提供入射光束;以及光阑,位于上述频谱面上;

其中,建立 xyz 轴坐标,上述第一透镜、第二透镜、光阑及空间光调制器均平行 xy 面设置;

上述空间光调制器沿 x 方向的像素透光部分线度和像素线度的比值为 0.5;

调节上述两个相干点光源的位置,使两个点光源所提供入射光束对应的两个一阶谱在频谱面上沿 x 方向依次排列,沿 y 方向错位排列,错位距离为二分之一一阶谱谱面尺寸;

上述光阑的孔径沿 x 方向为单个一阶谱尺寸的二倍,沿 y 方向为单个一阶谱尺寸的二分之一,截取两个一阶谱的各上下二分之一,滤除其它频谱信息;

经上述光阑滤波的光信息经过上述第二透镜的再次转换,复现上述空间光调制器被输入的二维编码信息于等效调制面。

2. 根据权利要求 1 所述的计算全息三维图像显示系统,其特征在于:第一透镜和第二透镜采用透镜组,或具有位相调制功能的衍射光学元件代替。

3. 一种通过权利要求 1 或 2 所述的计算全息三维图像显示系统实现的基于一阶谱谱面重组的计算全息三维图像显示方法,其特征在于包括以下步骤:

建立 xyz 轴坐标,第一透镜、第二透镜、光阑及空间光调制器均平行 xy 面设置;

像素尺寸 $p_x \times p_y$, 分辨率 $M \times N$ 的空间光调制器被输入的二维编码信息,经第一透镜转换后投射在频谱面上;

调节两个相干点光源的位置,使两个点光源所提供入射光束对应的两个一阶谱在频谱面上沿 x 方向依次排列,沿 y 方向错位排列,错位距离为二分之一一阶谱谱面尺寸;

上述光阑的孔径沿 x 方向为单个一阶谱尺寸的二倍,沿 y 方向为单个一阶谱尺寸的二分之一,截取两个一阶谱的各上下二分之一,滤除其它频谱信息;

经上述光阑滤波的光信息经上述第二透镜的再次转换,复现空间光调制器被输入的二维编码信息于等效调制面,实现等效调制面上分辨率为 $(2M) \times (N/2)$ 的等效计算全息编码;

按 $(2M) \times (N/2)$ 的分辨率,采用菲涅尔计算全息,计算三维图像在等效调制面上 $(2M) \times (N/2)$ 的等效计算全息编码;反向经上述第二透镜,数值计算等效计算全息编码在频谱面上 $(2M) \times (N/2)$ 的信息分布,并沿 x 方向对称分成两个 $M \times (N/2)$ 子区域;以及

将两个子区域沿垂直 y 方向上下排列,合成分辨率为 $M \times N$ 的重组谱,反向经第一透镜,数值计算重组谱在空间光调制器处分辨率为 $M \times N$ 的二维编码信息,该二维编码信息即为空间光调制器的输入二维编码信息,将其加载到双光束入射的空间光调制器,并通过上述三维图像显示系统,实现三维图像的显示。

基于一阶谱谱面重组的计算全息三维图像显示方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及三维图像显示技术领域,具体公开了一种基于一阶谱谱面重组的计算全息三维图像显示方法及系统。

背景技术

[0002] 由于二维显示难以清楚准确表达第三维的深度信息,人们一直在致力于研究可显示立体场景的显示技术——三维图像显示技术。全息三维显示技术利用光的干涉,记录物光的振幅和位相信息,再通过光的衍射将物光的信息重新构建出来,是各种显示方法中唯一真正意义上的三维显示技术。

[0003] 早期的光学全息需要制备三维物体的模型,反射光束进行相干记录,限制了全息技术的实际应用。随着光电技术及器件的迅速发展,数字全息三维显示技术的发展及应用取得了飞速发展,其基本原理是用计算机模拟光学衍射过程,并用光调制器件代替传统全息记录材料,在光波传输路径的某一个平面上模拟衍射光的复振幅,实现三维图像信息的全记录,再通过光学衍射,复现出三维图像。

[0004] 但受调制器空间分辨率的限制,光调制器通过光学系统衍射直接生成的三维图像观察视角比较小,需要采用其它方法,对显示三维图像的视角进行展宽。为了解决这个问题,目前常用的一个方法是分时复用,采用具有较高刷新频率的光调制器件,将显示图像不同观察方位角对应的计算编码依次输入,通过同步扫描等技术,将不同视角的三维图顺序快速显示,依靠人眼的视觉停留,获得大视角三维图像的视觉效果。另一个方法为空间复用,通过多个调制器件的拼合来提高输出面的空间带宽积,以实现较大的衍射角。前者需要机械扫描装置,后者多个调制器的准确拼合存在难度,且其系统成本都较高,限制了三维显示技术的进一步实用化。

[0005] YaKaki 等人在 2008 年提出了谱面重组技术,牺牲一个方向的分辨率,通过谱面重组,实现另一方向分辨率的提高,可以实现单个调制器件的双目可视三维图像显示。但由于调制器件像素的周期结构,谱面存在高阶衍射项,会和重组后谱面发生重叠,带来严重串扰。

发明内容

[0006] 针对光调制器件衍射生成的三维图像观察视角有限的问题,本发明的目的是基于一阶谱谱面重组技术,通过像素填充因子和光束入射角的设计,提出了一种无串扰计算全息三维图像显示方法及系统,可以将菲涅尔计算全息三维图像 x 方向的观察视角增大一倍。

[0007] 本发明的目的及解决其技术问题是采用以下技术方案来实现的。依据本发明提出的基于一阶谱谱面重组的计算全息三维图像显示系统,包括:准直透镜,用于将发散光束转换系统入射光束;谱面重组光学系统,由第一透镜和第二透镜组成;空间光调制器,输入二维编码,并经过上述第一透镜的转换,在空间光调制器对应频谱面上显示输入二维编码的

频谱分布；相干点光源，通过准直透镜，为上述空间光调制器件提供入射光；以及光阑，位于上述空间光调制器由第一透镜所确定的频谱面上。

[0008] 空间光调制器在 x 方向像素透光部分线度和像素线度的比值为 0.5。

[0009] 第一透镜和第二透镜可以采用透镜组，或具有位相调制功能的衍射光学元件代替。

[0010] 同时，本发明还提供了一种基于一阶谱谱面重组的计算全息三维图像显示方法，包括以下步骤：

[0011] 建立 xyz 轴坐标，其中，第一透镜、第二透镜、光阑及空间光调制器均平行 xy 面设置；

[0012] 空间光调制器（像素尺寸 $p_x \times p_y$ ，分辨率 $M \times N$ ）输入二维编码信息，经第一透镜转换后投射在频谱面上，调节两相干点光源位置，使谱面上的一阶谱项在 x 方向上依次排列，在 y 方向上错位排列，错位距离为二分之一一阶谱谱面尺寸；

[0013] 光阑孔径 x 方向为单个一阶谱尺寸的二倍， y 方向为单个一阶谱尺寸的二分之一，截取两个一阶谱的各上下二分之一，滤除其它频谱信息；

[0014] 滤波后光信息经过第二透镜的再次转换，复现空间光调制器的输入信息于等效调制面，实现等效调制面上分辨率为 $(2M) \times (N/2)$ 的等效计算全息编码；

[0015] 按 $(2M) \times (N/2)$ 的分辨率，采用菲涅尔计算全息，计算三维图像在等效调制面上 $(2M) \times (N/2)$ 的等效计算全息编码；反向经第二透镜，数值计算等效计算全息编码在频谱面上 $(2M) \times (N/2)$ 的信息分布，并沿 x 方向对称分成两个 $M \times (N/2)$ 子区域；以及

[0016] 将两个子区域沿垂直 y 方向上下排列，合成分辨率为 $M \times N$ 的重组谱，反向经第一透镜，数值计算重组谱在空间光调制器处分辨率为 $M \times N$ 的二维编码信息，该二维编码信息即为空间光调制器的输入二维编码，将其加载到双光束入射的空间光调制器，通过上述三维图像显示系统，实现三维图像的显示。

[0017] 借由上述技术方案，本发明基于谱面重组的计算全息三维图像显示方法及系统至少具有的有益效果是：以单个光调制器为输入器件，可以在 x 方向无串扰地将其生成菲涅尔计算全息三维图像的观察视角增大，利用现有光调制器件，在一定的观察距离下，可以实现双目可视三维图像的单调制器件衍射显示，有利于三维图像显示技术的实用化。

附图说明

[0018] 图 1 为本发明的谱面重组系统光路图。

[0019] 图 2 为谱面光阑滤波结构示意图。

[0020] 图 3(a) 和 3(b) 分别为 SLM 靶面和有效调制面的像素尺寸图。

[0021] 图 4 为高阶谱对零阶谱的串扰示意图。

[0022] 图 5 为无串扰双一阶谱重组示意图。

[0023] 10：准直透镜

20：空间光调制器

[0024] 30：谱面重组光学系统

31：第一透镜

[0025] 32：第二透镜

40：光阑

具体实施方式

[0026] 为了更详细的解释本发明所提出的基于一阶谱谱面重组技术的三维图像显示技术,以下结合附图及系统的某一具体参数,对本发明进行详细阐述。应当理解,此处所描述的实施例仅仅是用以解释本发明的设计,并不用于限定本发明。

[0027] 实施例

[0028] 如图 1 所示,本发明的谱面重组系统包括:用于为系统提供平行入射光束的准直透镜 10(焦距 f_c),由第一透镜 31(焦距 f_1)和第二透镜 32(焦距 f_2)组成的谱面重组光学系统 30,令 $f_1 = f_2 = f_f$;位于第一透镜 31 的前焦面上的空间光调制器 20(像素尺寸 $p_x \times p_y$,分辨率 $M \times N$);位于准直透镜 10 前焦面上的点光源;以及位于第一透镜 31 后焦面(系统谱面)上的光阑 40。

[0029] 该准直透镜 10 可将其前焦面上的相干点光源出射的光束转化为平行光束,并以特定角度入射空间光调制器 20;空间光调制器 20 输入二维编码,并通过第一透镜 31 的转换,在谱面上得到该空间光调制器 20 输入信息的频谱分布。该空间光调制器 20 可以是反射型或透射型、位相调制型或振幅调制型,若采用反射型空间光调制器,其靶面应稍微倾斜于第一透镜 31 的前焦面。

[0030] 该谱面重组光学系统 30 可以在谱面上通过光阑 40 进行非一阶谱滤除和一阶谱重组。该点光源通过准直透镜 10 为上述空间光调制器 20 提供了不同入射方向的相干光源。第一透镜 31 和第二透镜 32 可以采用多个透镜或透镜组,或具有位相调制功能的衍射光学元件代替。

[0031] 以第一透镜 31 的前焦面上有 1、2、3、4 四个相干点光源(波长 λ)为例,其位置分别为 $(-\frac{3}{2}\frac{f_c}{p_x f_f}, \frac{3}{8}\frac{f_c}{p_y f_f})$, $(-\frac{1}{2}\frac{f_c}{p_x f_f}, \frac{1}{8}\frac{f_c}{p_y f_f})$, $(\frac{1}{2}\frac{f_c}{p_x f_f}, -\frac{1}{8}\frac{f_c}{p_y f_f})$, $(\frac{3}{2}\frac{f_c}{p_x f_f}, -\frac{3}{8}\frac{f_c}{p_y f_f})$, 其分布关于中心对称。经准直透镜 10 准直后,分别平行入射空间光调制器 20,不考虑高阶衍射项,经第一透镜 31 的变换,在谱面上生成图 2 所示四个谱面的依次排列分布。高度 $\lambda f_1/4p_y$ 、宽度 $4\lambda f_1/p_x$ 的光阑 40 对谱面进行滤波,只让图 2 所示无斜线的谱面信息透过。图中 L1#1 代表图 1 中点光源 1 出射的相干光入射空间光调制器 20 时对应谱面的第一个 1/4 高度部分, L3#2 代表图 1 中点光源 3 出射的相干光入射空间光调制器 20 时对应谱面的第二个 1/4 高度部分,其它类推。可见,谱面上无遮挡通过光阑的信息(光阑孔径滤波信息)包含了空间光调制器 20 输入编码的所有频谱信息,但其排列方式发生了转变,分辨率 $M \times N$ 转变为 $(4M) \times (N/4)$ 。由于入射光源的对称性,滤波信息的对称性也保持不变,也就是说,若采用振幅调制光调制器,滤波信息是铎米对称的,若采用位相调制光调制器,滤波信息是反铎米对称的。滤波信息经第二透镜 32 傅里叶变换,在有效调制面上得到取样间隔为 $(p_x/4) \times (4p_y)$,分辨率为 $(4M) \times (N/4)$ 的纯振幅或纯位相编码信息。

[0032] 空间光调制器 20 靶面和有效调制面对应取样单元尺寸的大小分别如图 3(a) 和 3(b) 所示。

[0033] 但目前所用任何空间光调制器像素的填充因子都不可能实现 100%。考虑其填充因子 σ (像素透光部分线度和像素线度的比值),存在高阶谱项的影响。以一维函数为例:

$$[0034] \quad F\left\{\frac{1}{p_x}f(x)\text{comb}\left(\frac{x}{p_x}\right)\otimes\text{rect}\left(\frac{x}{\sigma p_x}\right)\right\}$$

$$[0035] = \sum F(u - n \frac{1}{p_x}) \sigma \sin c(n\sigma)$$

$$[0036] = \sigma F(u) + \frac{\sin(\sigma\pi)}{\pi} F(u - \frac{1}{p_x}) + \frac{\sin(2\sigma\pi)}{2\pi} F(u - \frac{2}{p_x}) + \frac{\sin(3\sigma\pi)}{3\pi} F(u - \frac{3}{p_x}) + \dots$$

$$[0037] = F_0(u) + F_1(u) + F_2(u) + F_3(u) + \dots$$

[0038] 其中 $F_0(u)$ 为我们需要的频谱信息 - 零阶谱, $F_1(u)$ 、 $F_2(u)$ 、 $F_3(u)$ 等分别为一阶、二阶、三阶等高阶谱。

[0039] 如图 4 所示, 光阑 40 通光孔径的 z_1 、 z_2 、 z_3 和 z_4 四个子区域, 让不同入射光对应零阶谱的不同四分之一部分通过, 实现了空间光调制器 20 输入信息的零阶谱信息重组。图中 z_2 子区域的 $L2\#\#0$ 代表入射光 2 对应 0 阶谱分布和 z_2 子区域空间重叠部分, z_1 子区域的 $L2\#\#-1$ 代表入射光 2 对应 -1 阶谱分布和 z_2 子区域空间重叠部分, 其它类推。各个子区域, 如 z_1 子区域, 切割出我们需要的入射光 1 对应 0 阶谱的四分之一: $L1\#\#0$, 但同时也让高阶谱信息 $L2\#\#-1$ 、 $L3\#\#-2$ 、 $L4\#\#-3$ 透过, 作为噪声, 严重影响最终的显示效果。

[0040] 由上面公式可知, 当空间光调制器 20x 方向上的像素填充因子 (像素透光部分线度和像素线度的比值) $\sigma = 0.5$ 时, $F_2(u)$ 、 $F_4(u)$ 等偶数高阶项为零。利用这个特性, 以一阶谱为合成谱的切割对象, 采用两束入射光, 通过设计照射光的入射角度, 可以消除高阶谱的重叠串扰, 实现衍射生成图像水平方向上观察视角的双倍展宽。

[0041] 令准直透镜 10 前焦面上两相干点光源位置为 $(-\frac{3}{2} \frac{f_c}{p_x f_f}, \frac{1}{4} \frac{f_c}{p_y f_f})$ 和 $(\frac{3}{2} \frac{f_c}{p_x f_f}, -\frac{1}{4} \frac{f_c}{p_y f_f})$,

经准直透镜 10 入射 $\sigma = 0.5$ 的空间光调制器 20, 在谱面上对一阶谱进行切割, 如图 5 所示。在光阑 40 的 z_1 子区域, 分布有入射光 1 对应 1 阶谱信息和入射光 2 对应 -2 阶谱信息, 又因为偶数高阶谱项为零, 故 z_1 子区域只有 $L1\#\#1$ 表示的二分之一入射光 1 对应 1 阶谱信息的信息可以通过。同样, z_2 子区域只有 $L2\#\#-1$ 表示的二分之一入射光 2 对应 -2 阶谱信息的信息可以通过。这样, 空间光调制器 20 输入编码信息的傅里叶变换谱信息 (分辨率 $M \times N$) 通过光阑 40 中转换成了 $(2M) \times (N/2)$, 且其对称性 (厄米或反厄米对称性) 保持不变。经第二透镜 32, 在等效调制面上可以得到等效计算全息编码, 其分辨率为 $(2M) \times (N/2)$, 取样间隔为 $(p_x/2) \times (2p_y)$, 在 x 方向像素尺寸发生 0.5 倍微缩。

[0042] 按 $(2M) \times (N/2)$ 的分辨率, 采用菲涅尔计算全息, 计算三维图像在等效调制面上 $(2M) \times (N/2)$ 的等效计算全息编码; 反向经第二透镜 32, 数值计算等效计算全息编码在谱面上 $(2M) \times (N/2)$ 的信息分布, 其空间分布和图 5 中的 z_1 和 z_2 子区域重合; 将两个子区域对应信息沿垂直 x 方向上下排列, 合成分辨率为 $M \times N$ 的重组谱信息分布 (重组谱); 再反向经第一透镜 31, 数值计算重组谱在空间光调制器 20 处分辨率为 $M \times N$ 的二维编码信息, 该二维编码既是空间光调制器 20 的输入编码信息。将该二维编码加载到双光束入射的空间光调制器; 通过本发明的三维图像显示系统, 可实现 x 方向视角双倍展宽的三维图像显示。

[0043] 综上所述, 本发明的特点在于丢弃零阶谱, 以一阶谱为切割重组对象; 设计空间光调制器水平方向上的像素填充因子为 0.5, 通过点源面上两个点光源位置的设定, 将特定角度的两束相干光同时入射空间光调制器, 在谱面上生成包含零阶谱项和一阶谱、二阶谱等高阶谱项的两个谱面的排列; 采取合适光阑, 去除其它各阶谱项的叠加串扰, 完成一阶谱的切割重组, 在有效调制面上, 实现像素尺寸为 $(p_x/2) \times (p_y/2)$, 分辨率为 $(M/2) \times (N/2)$ 的纯

振幅或纯位相编码信息,由衍射原理,其生成三维图像的观察视角,在水平方向上是空间光调制器直接衍射获得的二倍。

[0044] 若空间光调制器的像素为 8 微米,以 500 纳米波长光入射,则采用本发明的一阶谱面重组后,生成衍射图像的观察视角 $\theta = \arcsin(\lambda/d) = \arcsin(0.5/8/2) \approx 7.2^\circ$, 取人双目间距约 55 毫米,则在 440 毫米处,就可以双目同时观察到生成的三维图像,实现单个空间光调制器的双目可视三维图像显示,对计算全息三维图像显示技术的实用化,具有很积极的作用。

[0045] 另外,采用傅里叶计算全息,将上述计算全息三维图像显示系统的谱面重组光路进行改进,只保留第一透镜,在其后焦面上进行非一阶谱滤除和一阶谱重组,在光阑附近实现傅里叶计算全息三维图像显示,等效调制面位于第一透镜的前焦面上,显示图像其观察视角没有展宽,但可以实现 x 方向显示图像尺寸的扩展。

[0046] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例而已,并非对本发明作任何形式上的限制,故凡是未脱离本发明技术方案内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰,均仍属于本发明技术方案的范围。

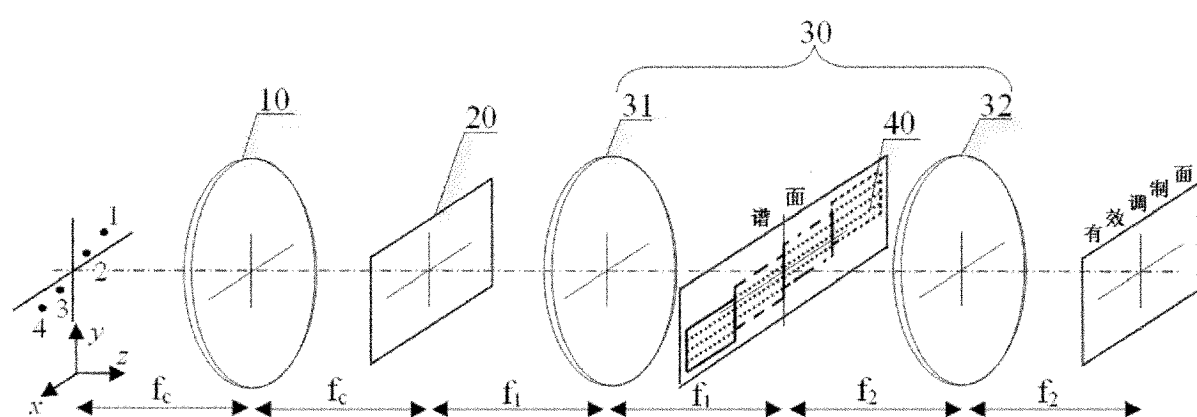


图 1

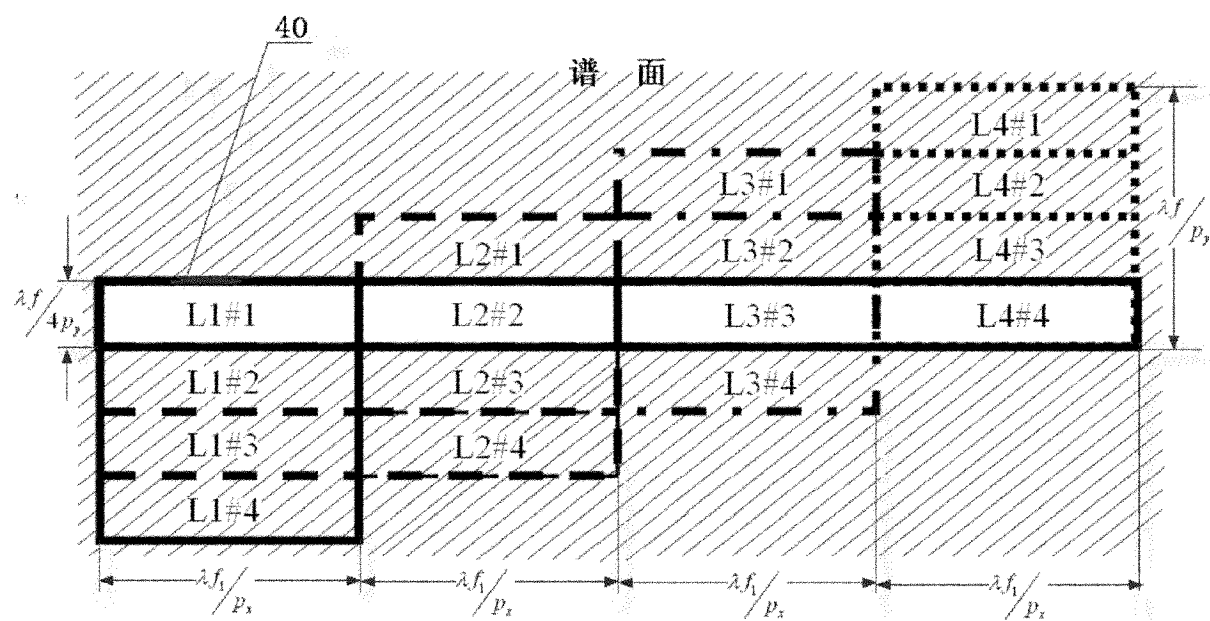


图 2

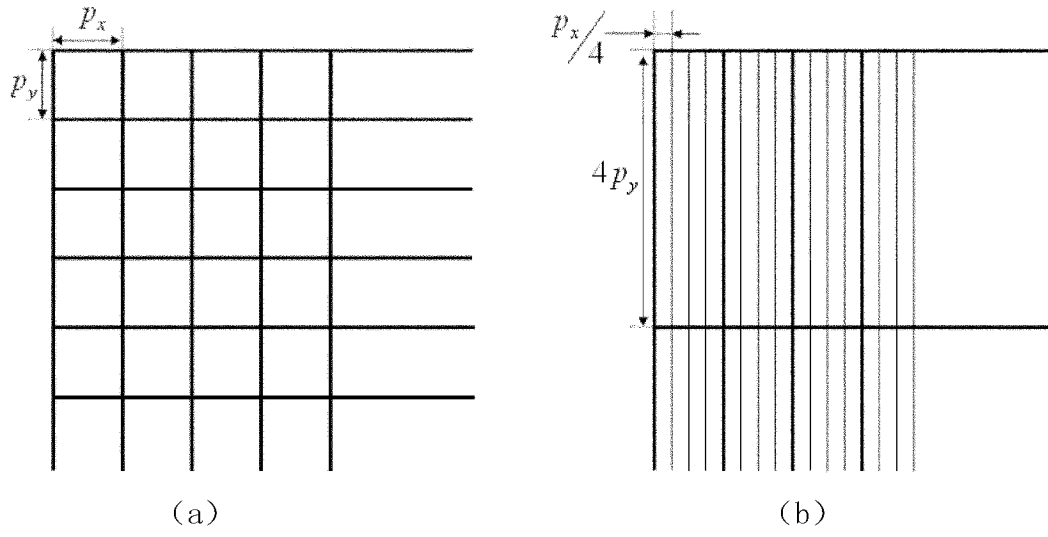


图 3

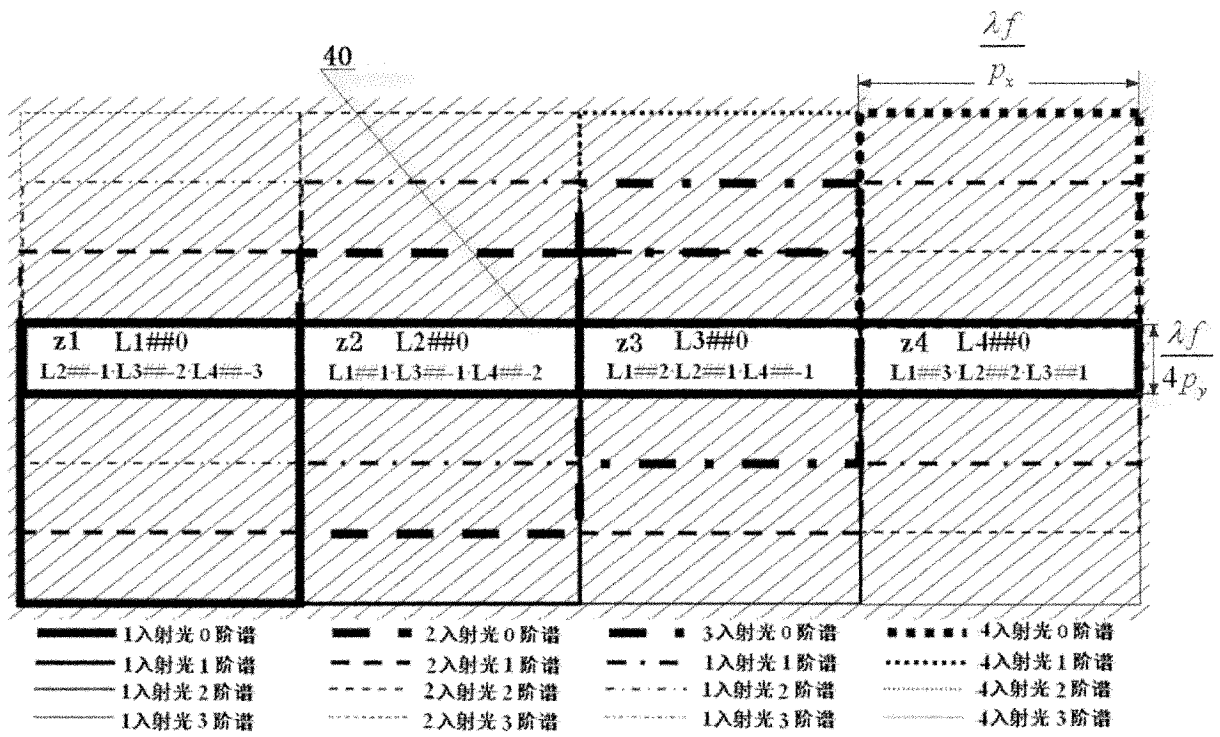


图 4

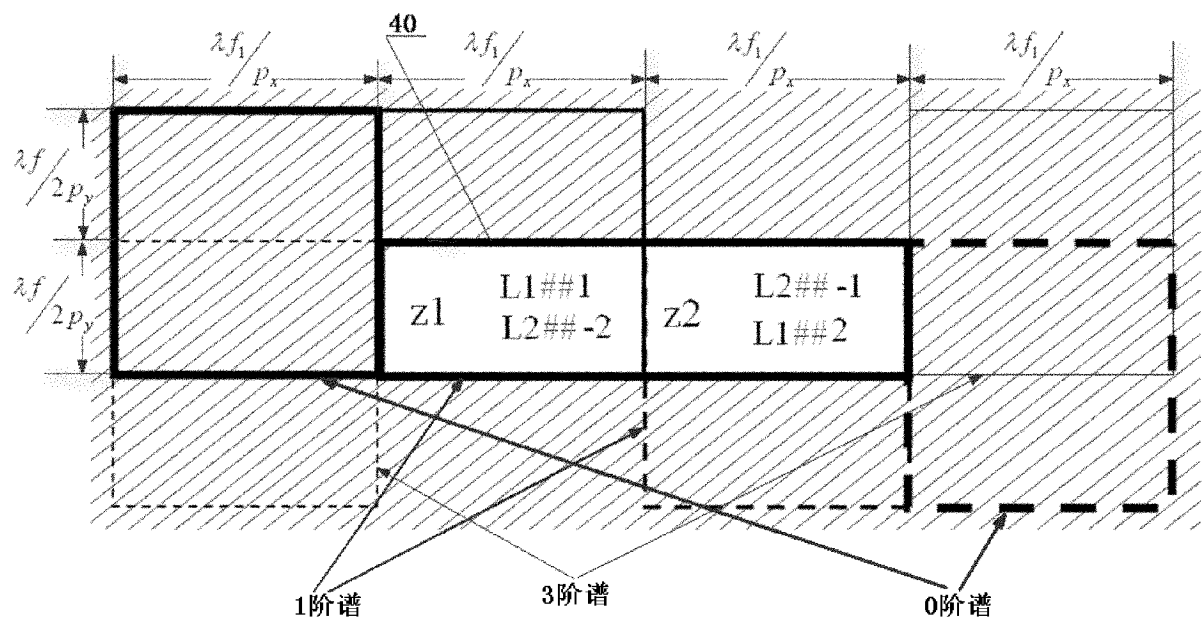


图 5