



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102636874 A

(43) 申请公布日 2012. 08. 15

(21) 申请号 201210029671. 1

G03B 35/00 (2006. 01)

(22) 申请日 2012. 02. 08

(30) 优先权数据

13/024, 221 2011. 02. 09 US

(71) 申请人 全视技术有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 保罗·E·X·希尔维拉

丹尼斯·J·加拉格尔 高路

(74) 专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理

有限责任公司 11204

代理人 余滕 王艳春

(51) Int. Cl.

G02B 27/00 (2006. 01)

G02B 27/46 (2006. 01)

G02B 27/52 (2006. 01)

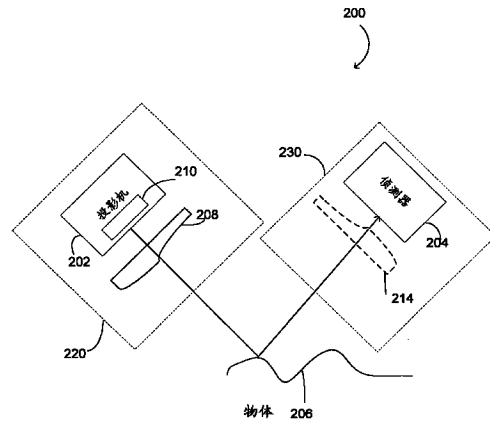
权利要求书 4 页 说明书 12 页 附图 28 页

(54) 发明名称

具全幅对焦的 3D 影像撷取装置及方法

(57) 摘要

一种具全幅对焦的 3D 影像撷取装置及方法。本发明提供一种用以撷取 3D 物体的 3D 影像的光学系统。光学系统包括投影机以供物体的结构式照明。投影机包括：光源；网格屏蔽，安置在光源与物体之间，以供物体的结构式照明用；以及第一波前编码 (WFC) 组件，具有安置在网格屏蔽与物体之间的相位调变屏蔽，用以通过网格屏蔽接收来自光源的图案化的光。第一 WFC 组件被建构并配置成能使投影机的点扩散函数 (PSF) 比不具有第一 WFC 组件的投影机的点扩散函数 (PSF) 遍及更宽的网格屏蔽的景深的范围实质上维持不变。



1. 一种用以撷取 3D 物体的影像的光学系统,所述光学系统包括一种供所述物体的结构式照明用的投影机,其特征在于,所述投影机包括:

光源;

网格屏蔽,安置在所述光源与所述物体之间,以供所述物体的结构式照明用;以及

第一波前编码 (WFC) 组件,具有安置在所述网格屏蔽与所述物体之间的相位调变屏蔽,用以通过所述网格屏蔽接收来自所述光源的图案化的光,其中所述第一 WFC 组件被建构并配置成能使所述投影机的点扩散函数 (PSF) 比不具有所述第一 WFC 组件的所述投影机的点扩散函数 (PSF) 遍及所述网格屏蔽的景深的较宽的范围实质上维持不变。

2. 根据权利要求 1 所述的光学系统,其特征在于,所述景深为相对于所述光源的中心波长的散焦的波的至少一半。

3. 根据权利要求 1 所述的光学系统,其特征在于,所述第一 WFC 组件被设计成用以沿着所述网格屏蔽的多条网网格线集中至少 60% 的相位调变。

4. 根据权利要求 1 所述的光学系统,其特征在于,还包括侦测器,用以利用来自所述投影机的结构式照明侦测所述物体。

5. 根据权利要求 4 所述的光学系统,其特征在于,还包括位于所述物体与所述侦测器之间的第二 WFC 组件,以使在所述侦测器上的所述物体的第一影像与所述网格屏蔽的第二影像具有比不具有所述第二 WFC 组件的影像更大的景深。

6. 根据权利要求 5 所述的光学系统,其特征在于,所述第二 WFC 组件包括循环对称 WFC 组件。

7. 根据权利要求 6 所述的光学系统,其特征在于,所述循环对称 WFC 组件被表示成 $P(\rho) = f(\rho)$, 其中 $\rho^2 = x^2 + y^2$, ρ 为所述侦测器的傅立叶平面的半径,而 $f(\rho)$ 为高阶多项式。

8. 根据权利要求 5 所述的光学系统,其特征在于,所述第一 WFC 组件与第二 WFC 组件的每一个包括循环对称 WFC 组件。

9. 根据权利要求 5 所述的光学系统,其特征在于,所述第一与第二 WFC 组件的每一个包括弱非可分离函数。

10. 根据权利要求 9 所述的光学系统,其特征在于,关于所述第一 WFC 组件的所述弱非

可分离函数被表示为
$$P(x,y) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \alpha_i x^i + \beta_j y^j + \gamma x^i y^j,$$
 关于所述第二 WFC 组件的所述弱

非可分离函数被表示为
$$P(X',Y') = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \alpha_i (-X')^i + \beta_j (-Y')^j + \gamma (-X')^i (-Y')^j,$$
 i 与 j 为

正整数,其中 Y' 轴线位在与 Y 轴线相同的方向, Z' 轴线位在与 X 轴线相同的方向,而 X' 轴线位在 z 轴线的相反方向。

11. 根据权利要求 5 所述的光学系统,其特征在于,所述第一与第二 WFC 组件的每一个包括高阶可分离函数。

12. 根据权利要求 11 所述的光学系统,其特征在于,关于所述第一 WFC 组件的所述高阶

可分离函数被表示为
$$P(x,y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i x^i + \beta_j y^j,$$
 而关于所述第二 WFC 组件的所述高阶

可分离函数被表示为
$$P(X',Y') = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i (-X')^i + \beta_j (-Y')^j,$$
 其中 Y' 轴线位在与 Y 轴线

相同的方向, Z' 轴线位在与 X 轴线相同的方向, 而 X' 轴线位在 z 轴线的相反方向。

13. 根据权利要求 5 所述的光学系统, 其特征在于, 所述第一与第二 WFC 组件的每一个包括三次函数。

14. 根据权利要求 13 所述的光学系统, 其特征在于, 关于所述第一 WFC 组件的所述三次函数被表示为 $\alpha x^3 + \beta y^3$, 而关于所述第二 WFC 组件的所述三次函数被表示为 $-(\alpha X'^3 + \beta Y'^3)$, 其中 Y' 轴线位在与 Y 轴线相同的方向, Z' 轴线位在与 X 轴线相同的方向, 以及 X' 轴线位在 z 轴线的相反方向。

15. 根据权利要求 5 所述的光学系统, 其特征在于, 所述第二 WFC 组件被设计成是可移动或可移除的。

16. 根据权利要求 1 所述的光学系统, 其特征在于, 所述网格屏蔽与所述第一 WFC 组件为单一组件的一部分, 所述单一组件包括模压塑料。

17. 根据权利要求 1 所述的光学系统, 其特征在于, 来自所述光源的光包括可见光与红外光的至少一个。

18. 一种用以摄取 3D 物体的影像的折迭式光学系统, 所述光学系统包括一种供所述物体的结构式照明用的投影机, 其特征在于, 所述投影机包括:

光源;

网格屏蔽, 安置在所述光源与所述物体之间, 以供所述物体的结构式照明用,

第一波前编码 (WFC) 组件, 具有安置在所述网格屏蔽与所述物体之间的相位调变屏蔽; 以及

分光器, 在所述第一 WFC 组件与所述物体之间, 用以改变来自所述光源的光方向, 其中所述第一 WFC 组件被建构并配置成能使所述投影机的点扩散函数 (PSF) 比不具有所述第一 WFC 组件的所述投影机的点扩散函数 (PSF) 对于所述网格屏蔽的景深较不敏感。

19. 根据权利要求 18 所述的折迭式光学系统, 其特征在于, 所述景深为相对于所述光源的中心波长的散焦的波的至少一半。

20. 根据权利要求 18 所述的折迭式光学系统, 其特征在于, 所述第一 WFC 组件被设计成用以沿着多条网网格线集中至少 60% 的相位调变。

21. 根据权利要求 18 所述的折迭式光学系统, 其特征在于, 还包括用以侦测所述物体的侦测部分, 其中所述侦测部分包括侦测器, 其中所述分光器安置在所述侦测器与所述物体之间。

22. 根据权利要求 21 所述的折迭式光学系统, 其特征在于, 所述侦测部分包括安置在所述分光器与所述侦测器之间的第二 WFC 组件, 以使在所述侦测器上的所述物体的第一影像与所述网格屏蔽的第二影像具有比不具有所述第二 WFC 组件的影像更大的景深。

23. 根据权利要求 22 所述的折迭式光学系统, 其特征在于, 所述第二 WFC 组件包括循环对称 WFC 组件。

24. 根据权利要求 22 所述的折迭式光学系统,其特征在于,所述第一 WFC 组件与所述第二 WFC 组件的每一个包括循环对称 WFC 组件。

25. 根据权利要求 22 所述的折迭式光学系统,其特征在于,所述第一与第二 WFC 组件的每一个包括弱非可分离函数。

26. 根据权利要求 22 所述的折迭式光学系统,其特征在于,所述第一与第二 WFC 组件的每一个包括高阶可分离函数。

27. 根据权利要求 22 所述的折迭式光学系统,其特征在于,所述第一与第二 WFC 组件的每一个包括三次函数。

28. 根据权利要求 18 所述的折迭式光学系统,其特征在于,来自所述光源的光包括可见光与红外光的至少一个。

29. 根据权利要求 18 所述的折迭式光学系统,其特征在于,所述分光器被设计成是可移动或可移除的。

30. 一种用以撷取 3D 物体的影像的光学系统,所述光学系统包括一种供所述物体的结构式照明用的投影机,其特征在于,所述投影机包括:

光源;

实体媒介,依据计算机产生全像片 (CGH) 被浮雕以具有表面凸纹图案,所述实体媒介安置在所述光源与所述物体之间以供所述物体的结构式照明用,其中所述 CGH 包括网格屏蔽的第一计算机表现与第一波前编码 (WFC) 组件的第二计算机表现;以及

分光器,在所述实体媒介与所述物体之间,用以改变来自所述光源的光方向,其中所述实体媒介被建构并配置成能使所述投影机的点扩散函数 (PSF) 比不具有所述实体媒介的所述投影机的点扩散函数 (PSF) 对于所述实体媒介的景深较不敏感。

31. 根据权利要求 30 所述的光学系统,其特征在于,所述景深为相对于所述光源的中心波长的散焦的波的至少一半。

32. 根据权利要求 30 所述的光学系统,其特征在于,所述光源包括雷射二极管与发光二极管的至少一个,其中来自所述光源的光至少局部相干。

33. 根据权利要求 30 所述的光学系统,其特征在于,所述实体媒介包括透明塑料。

34. 根据权利要求 33 所述的光学系统,其特征在于,所述塑料包括聚(甲基丙烯酸甲酯)。

35. 根据权利要求 30 所述的光学系统,其特征在于,所述第一 WFC 组件被设计成用以沿着多条网网格线集中至少 60% 的相位调变。

36. 根据权利要求 30 所述的光学系统,其特征在于,还包括用以侦测所述物体的侦测部分,其中所述侦测部分包括侦测器,其中所述分光器安置在所述侦测器与所述物体之间。

37. 根据权利要求 36 所述的光学系统,其特征在于,所述侦测部分包括安置在所述分光器与所述侦测器之间的第二 WFC 组件,以使在所述侦测器上的所述物体的第一影像与所述实体媒介的第二影像具有比不具有所述第二 WFC 组件的影像更大的景深。

38. 根据权利要求 37 所述的光学系统,其特征在于,所述第二 WFC 组件包括循环对称 WFC 组件。

39. 根据权利要求 37 所述的光学系统,其特征在于,所述第一 WFC 组件与所述第二 WFC 组件的每一个包括循环对称 WFC 组件。

40. 根据权利要求 37 所述的光学系统,其特征在于,所述第一与第二 WFC 组件的每一个包括弱非可分离函数。

41. 根据权利要求 37 所述的光学系统,其特征在于,所述第一与第二 WFC 组件的每一个包括高阶可分离函数。

42. 根据权利要求 37 所述的光学系统,其特征在于,所述第一与第二 WFC 组件的每一个包括三次函数。

43. 一种用以撷取 3D 物体的影像的方法,其特征在于,包括:

从投影机投射光通过网格屏蔽与相位调变屏蔽以产生图案化的光;

以所述图案化的光照明所述 3D 物体;以及

以侦测器撷取由所述 3D 物体所反射的图案化的光。

44. 根据权利要求 43 所述的方法,其特征在于,还包括:在撷取的步骤的前,通过第二相位调变屏蔽投射由所述 3D 物体所反射的所述图案化的光。

45. 一种用以撷取 3D 物体的影像的方法,其特征在于,包括:

从投影机投射图案化的光朝向所述 3D 物体,其中所述投影机包括光源与依据计算机产生全像片 (CGH) 被浮雕以具有表面凸纹图案的实体媒介,所述实体媒介安置在所述光源与所述物体之间以供所述物体的结构式照明用,其中所述 CGH 包括网格屏蔽的第一计算机表现与第一波前编码 (WFC) 组件的第二计算机表现;

使所述图案化的光照明至所述 3D 物体上;以及

以侦测器撷取所述 3D 物体的多个影像,其中所述实体媒介被建构并配置成能使所述投影机的第一点扩散函数 (PSF) 比不具有所述实体媒介的所述投影机的点扩散函数 (PSF) 对于所述实体媒介的景深较不敏感。

46. 根据权利要求 45 所述的方法,其特征在于,还包括置放第二 WFC 组件在所述 3D 物体与所述侦测器之间,用以对因所述第一 WFC 组件所产生的多个横向位移加以补偿。

47. 根据权利要求 46 所述的方法,其特征在于,所述景深为散焦的中心波长的至少一半。

48. 根据权利要求 43 所述的方法,其特征在于,还包括放射来自所述光源的至少局部地相干光。

49. 根据权利要求 43 所述的方法,其特征在于,所述实体媒介包括透明塑料。

50. 根据权利要求 43 所述的方法,其特征在于,所述塑料包括聚(甲基丙烯酸甲酯)。

具全幅对焦的 3D 影像撷取装置及方法

技术领域

[0001] 美国专利第 5,748,371 号 (1998 年 5 月 5 日发证, 名称为 " 全幅对焦光学系统 (Extended Depth of field Optical systems) " , 于此并入作参考。美国专利第 6,069,738 号 (2000 年 5 月 30 日发证, 名称为 " 延伸影像投射系统的景深的装置及方法 (Apparatus and Methods for Extending Depth of field in Image Projection Systems) "), 于此并入作参考。美国专利第 6,525,302 号 (2003 年 2 月 25 日发证, 名称为 " 波前编码相位对比取像系统 (Wavefront Coding Phase Contrast Imaging Systems) ") 于此并入作参考。国际专利申请案 PCT/US2006/036556 (申请日为 2006 年 9 月 19 日, 名称为 " 任务式取像系统 (Task-based Imaging Systems) " , 于此并入作参考。

[0002] 本发明是有关于一种具全幅对焦的 3D 影像撷取装置及方法。

背景技术

[0003] 结构式照明 (SI) 或图案化照明将狭小光带投射至 3D 场景上, 用以产生多条出现扭曲的照明线。扭曲可被取像并用以通过扭曲线的位置的三角测量来将一个或多个物体的表面形状重建在场景内。

[0004] 平行条纹的图案已经广泛被使用在结构式照明中。两种关于条纹图案产生的共同方法为雷射干涉与投射。雷射干涉方法使用两种互相干涉的激光束以产生有规则的线图案。不同的图案尺寸可通过改变这些光束的角度而获得。这方法产生具有未受限的景深的细微图案。然而, 雷射干涉技术具有一些缺点, 包括与实施相关的高成本, 无法调变个别条纹, 以及与从物体反射的光束的可能干扰。

[0005] 另一方面, 投射方法使用一种具有非相干 (incoherent) 光源的投影机, 用以产生图案化的光 (例如视频投影机)。图案可能通过在投影机内的显示器 (例如液晶显示器 (LCD)) 而产生。

[0006] 仍然维持有一种对于发展以高分辨率且低成本撷取 3D 影像的系统与方法的需求。再者, 存在有一种对于透过宽广景深 (DOF) 侦测投射线的强健方法的需求。

发明内容

[0007] 本揭露内容通过提供一种具全幅对焦的 3D 影像撷取系统而推进此技艺。3D 影像撷取系统合并波前编码 (WFC) 组件以延伸景深。

[0008] 在实施例中, 提供一种用以撷取 3D 物体的 3D 影像的光学系统。光学系统包括投影机以供物体的结构式照明用。投影机包括: 光源; 网格屏蔽, 安置在光源与供物体的结构式照明用的物体之间; 以及第一波前编码 (WFC) 组件, 具有安置在网格屏蔽与物体之间的相位调变屏蔽, 用以通过网格屏蔽接收来自光源的图案化的光。第一 WFC 组件被建构并配置成能使投影机的点扩散函数 (PSF) 比不具有第一 WFC 组件的投影机的点扩散函数 (PSF) 遍及更宽的网格屏蔽的景深的范围实质上维持不变。

[0009] 在另实施例中, 提供一种用以撷取 3D 物体的影像的折迭式光学系统。光学系统包

括投影机以供物体的结构式照明用。投影机包括：光源；网格屏蔽，安置在光源与供物体的结构式照明用的物体之间；第一波前编码 (WFC) 组件，具有安置在网格屏蔽与物体之间的相位调变屏蔽，以及分光器，在第一 WFC 组件与物体之间，用以改变来自光源的光方向。第一 WFC 组件被建构并配置成能使投影机的点扩散函数 (PSF) 比不具有第一 WFC 组件的投影机的点扩散函数 (PSF) 对于网格屏蔽的景深较不敏感。

[0010] 在更进一步的实施例中，提供一种用以撷取 3D 物体的影像的光学系统。光学系统包括投影机以供物体的结构式照明用。投影机包括光源，以及依据计算机产生全像片 (CGH) 被浮雕以具有表面凸纹图案的实体媒介。实体媒介被安置在光源与物体之间以供物体的结构式照明用。CGH 包括网格屏蔽的第一计算机表现与第一波前编码 (WFC) 组件的第二计算机表现。光学系统亦包括在实体媒介与物体之间的分光器，用以改变来自光源的光方向。实体媒介被建构并配置成能使投影机的点扩散函数 (PSF) 比不具有实体媒介的投影机的点扩散函数 (PSF) 对于实体媒介的景深较不敏感。

[0011] 在实施例中，提供一种用以撷取 3D 物体的影像的方法。此方法包括：(1) 从投影机投射光通过网格屏蔽与相位调变屏蔽以产生图案化的光；(2) 以图案化的光照明 3D 物体；以及 (3) 以侦测器撷取由 3D 物体所反射的图案化的光。

[0012] 在实施例中，提供一种用以撷取 3D 物体的影像的方法。此方法包括从投影机朝向 3D 物体投射图案化的光，于此投影机包括光源与依据计算机产生全像片 (CGH) 被浮雕以具有表面凸纹图案的实体媒介，实体媒介被安置在光源与供物体的结构式照明用的物体之间。CGH 包括网格屏蔽的第一计算机表现与第一波前编码 (WFC) 组件的第二计算机表现。此方法亦包括将图案化的光照明至 3D 物体上。此方法还包括以侦测器撷取 3D 物体的影像，其中实体媒介被建构并配置成能使投影机的第一点扩散函数 (PSF) 比不具有实体媒介的投影机的点扩散函数 (PSF) 对于实体媒介的景深较不敏感。

[0013] 额外实施例与特征是在下述说明中被提出，且所属技术领域的技术人员在说明书的检验时将更明白或可能通过本发明的实行而学到。本发明的本质与优点的更进一步的理理解可能参考说明书的其余部分而被实现。

附图说明

[0014] 图 1 为一种供物体的结构式照明用的已知光学系统的简化图。

[0015] 图 2 为在实施例中具全幅对焦的光学系统的简化图。

[0016] 图 3 为在实施例中具全幅对焦的折迭式光学系统。

[0017] 图 4 为于最佳聚焦下由图 1 的已知光学系统看到的网格的灰阶影像。

[0018] 图 5 为于五个波的散焦下由图 1 的已知光学系统看到的网格的灰阶影像。

[0019] 图 6 为于八个波的散焦下由图 1 的已知光学系统看到的网格的灰阶影像。

[0020] 图 7 为于最佳聚焦下由图 2 或图 3 的全幅对焦光学系统看到的网格的灰阶影像。

[0021] 图 8 为于五个波的散焦下由图 2 或图 3 的具全幅对焦的光学系统看到的网格的灰阶影像。

[0022] 图 9 为于八个波的散焦下由图 2 或图 3 的具全幅对焦的光学系统看到的网格的灰阶影像。

[0023] 图 10 为于最佳聚焦下由图 1 的已知光学系统看到的图 4 的网格的等高线图。

- [0024] 图 11 为于五个波的散焦下由图 1 的已知光学系统看到的图 5 的网格的等高线图。
- [0025] 图 12 为于八个波的散焦下由图 1 的已知光学系统看到的图 6 的网格的等高线图。
- [0026] 图 13 为于最佳聚焦下由图 2 或图 3 的具全幅对焦的光学系统看到的图 7 的网格的等高线图。
- [0027] 图 14 为于五个波的散焦下由图 2 或图 3 的具全幅对焦的光学系统看到的图 8 的网格的等高线图。
- [0028] 图 15 为于八个波散焦下由图 2 或图 3 的具全幅对焦的光学系统看到的图 9 的网格的等高线图。
- [0029] 图 16 为于最佳聚焦下由图 1 的已知光学系统看到的点（例如网格的交点）的灰阶影像。
- [0030] 图 17 为于五个波的散焦下由图 1 的已知光学系统看到的图 16 的点的灰阶影像。
- [0031] 图 18 为于八个波的散焦下由图 1 的已知光学系统看到的图 16 的点的灰阶影像。
- [0032] 图 19 为于最佳聚焦下由图 2 或图 3 的具全幅对焦的光学系统看到的点（例如网格的交点）的灰阶影像。
- [0033] 图 20 为于五个波的散焦下由图 2 或图 3 的具全幅对焦的光学系统看到的图 19 的点的灰阶影像。
- [0034] 图 21 为于八个波的散焦下由图 2 或图 3 的具全幅对焦的光学系统看到的图 19 的点的灰阶影像。
- [0035] 图 22 为于最佳聚焦下图 1 的已知光学系统的点扩散函数 (PSF)。
- [0036] 图 23 为于五个波的散焦下图 1 的已知光学系统的 PSF。
- [0037] 图 24 为于八个波的散焦下图 1 的已知光学系统的 PSF。
- [0038] 图 25 为于最佳聚焦下图 2 或图 3 的具全幅对焦的光学系统的 PSF。
- [0039] 图 26 为于五个波的散焦下图 2 或图 3 的具全幅对焦的光学系统的 PSF。
- [0040] 图 27 为于八个波的散焦下图 2 或图 3 的具全幅对焦的光学系统的 PSF。
- [0041] 图 28 为于最佳聚焦下由图 1 的已知光学系统看到的图 16 的点的等高线图。
- [0042] 图 29 为于五个波的散焦下由图 1 的已知光学系统看到的图 17 的点的等高线图。
- [0043] 图 30 为于八个波的散焦下由图 1 的已知光学系统看到的图 18 的点的等高线图。
- [0044] 图 31 为于最佳聚焦下由图 2 或图 3 的具全幅对焦的光学系统看到的图 19 的点的等高线图。
- [0045] 图 32 为于五个波的散焦下由图 2 或图 3 的具全幅对焦的光学系统看到的图 20 的点的等高线图。
- [0046] 图 33 为于八个波的散焦下由图 2 或图 3 的具全幅对焦的光学系统看到的图 21 的点的等高线图。
- [0047] 图 34 为在替代实施例中具全幅对焦的光学系统的简化图。

具体实施方式

[0048] 本揭露内容可能参考下述与图式相关联被考虑的详细说明而得以理解。吾人可注意到,为了说明清楚的目的,附图中的某些组件并未按比例绘制。为清楚起见,可能省略出现多次项的参考数字。在可能的情况下,遍及图式与下述说明系使用相同的参考数字以表

示相同的或类似的部分。

[0049] 结构式照明可通过网格投射图案化的光至物体上,用以通过测量网格的表面失真来撷取物体的表面斜率。这个结构式照明技术需要投射并侦测网格的细微线遍及 SI 系统的撷取量。因此,一种已知的 SI 系统的撷取量 (capture volume) 受限于系统的景深,以使难以正确投射及 / 或侦测网网格线与它们的交叉点遍及大的撷取量。

[0050] 波前编码 (" WFC ") 为一种用以延伸光学系统的景深及用以校正光学像差的方法。举例而言, WFC 利用特别设计的相位屏蔽以产生具有全幅对焦或聚焦 (" EdoF " 或 " EDOF ") 的点扩散函数 (PSF)。点扩散函数 (" PSF ") 描述取像系统对于点源或点物体的反应。举例而言, WFC 可能使用一种使影像均匀模糊不清的立方体的相位屏蔽。数字影像处理器接着可移除模糊 (例如,当期望可视影像时)。然而,可能牺牲动态范围以延伸景深。亦即,取像系统的调变转换函数 (其可被看作是对比的测定) 在如侦测到的影像数据中的某个空间频率中可能是低的。调变转换函数可利用影像处理而被增加,但放大低对比信号一般亦放大于相同空间频率下的噪声。

[0051] 本揭露书提供整合取像系统与 WFC 以延伸景深,用以低成本地撷取 3D 影像的系统与方法。更明确而言,这些系统使用第一 WFC 组件以遍及全幅对焦投射结构式照明的网格,并使用可选择的第二 WFC 组件以遍及全幅对焦侦测结构式照明的网格。WFC 组件亦可减少关于色彩编码的结构式照明的色像差。

[0052] 图 1 为一种供物体的结构式照明用的已知光学系统 100 的简化图。已知的光学系统 100 可包括投影机 102 及用以观看物体 106 的侦测器 104 (例如照相机)。投影机 102 包括用以朝向物体 106 放射光的光源。侦测器 104 接收来自物体 106 的散射或绕射光。

[0053] 图 2 为一种具全幅对焦的光学系统 200 的简化图。系统 200 包括投射臂 220 与侦测臂 230,投射臂 220 具有投影机 202,投影机 202 具有第一 WFC 组件 208,而侦测臂 230 具有侦测器 204 (例如照相机),侦测器 204 具有可选择的第二 WFC 组件 214。来自投影机 202 的光通过第一 WFC 组件 208 并碰到物体 206。从物体 206 朝向侦测器 204 的光散射或绕射通过第二 WFC 组件 214。投影机 202 可包括网格屏蔽 210 以供结构式照明用。

[0054] 第一 WFC 组件 208 提供网格 210 相位调变,以使网格 210 于最佳聚焦下,在系统 200 中比在已知系统 100 中似乎较不锐利。然而,将第一 WFC 组件 208 并入系统 200 允许投影机 202 的网格 210 被侦测遍及景深的较宽范围,以使网格 210 的矩心可能透过景深的较宽范围而正确被决定。虽然系统 200 具有全幅对焦,但因为并入第一 WFC 组件 208 的结果,于最佳聚焦下可能减少系统 200 中的信号噪声比 (SNR)。

[0055] 可选择的第二 WFC 组件 214 被并入系统 200 中以供补偿因第一 WFC 组件 208 而产生的横向位移。然而,第二 WFC 组件 214 可能使影像模糊不清。第二 WFC 组件 214 可能是可移动或可移除的,且只有在需要用以对横向位移加以补偿时被使用。以下更进一步讨论第一与第二 WFC 组件。

[0056] 系统 200 的一项限制为物体 206 不应但可能阻碍来自投影机 202 的照明。在系统 200 中,投影机 202 与侦测器 204 并未对准。投影机与侦测器较佳是可对准,以使来自投影机的光碰到物体,且光朝与如可由系统侦测到的光的输入方向相同的方向返回散射朝向侦测器。对准的投影机与侦测器的优点为被投射光学所照明的所有表面对接收光学是 " 可见的 ", 而反之亦然。某些物体可能在其它物体后方,但将照明对接收光学是 " 可见的 " 至少

所有物体。为这种具有与侦测器对准的投影机的系统提供例子。

[0057] 图 3 为一种具全幅对焦的折迭式光学系统 300。折迭式光学系统 300 包括以虚线为界限的照明臂或投射臂 320 以及侦测臂 330。投射臂 320 可包括光源 302、网格屏蔽 304、准直透镜 306A、第一 WFC 组件 308、透镜 306B、双用途折迭分光器 310，以及双用途透镜 (dual-purpose lens) 312。侦测臂 330 包括透镜 312、分光器 310、可选择的第二 WFC 组件 314、透镜 322，以及侦测器 316。分光器 310 与透镜 312 被使用于投射臂 320 及侦测器臂 330 两者以提供双用途。

[0058] 在投射臂 320 中，来自光源 302 的光通过准直透镜 306A 而被凝聚，其可能位于距离光源 302 大概一个焦距。准直透镜 306A 提供网格屏蔽 304 均匀的照明。透镜 306B 可能被置于距离网格屏蔽 304 大概一个焦距，并以傅立叶方式变换网格屏蔽 304 的影像。傅立叶平面为在垂直于光学轴线的空间中的平面，于此影像通过透镜而被进行傅立叶变换。对于在透镜前的一个焦距的影像而言，其傅立叶变换是在透镜后的一个焦距被发现。第一 WFC 组件 308 安置在透镜 306B 与分光器 310 之间且靠近投射臂 320 的傅立叶平面 320A，以使网格屏蔽 304 维持良好聚焦并且比没有使用第一 WFC 组件 308 的更长的距离。傅立叶平面 320A 大概距离透镜 312 一个焦距以及距离透镜 306B 一个焦距。透镜 312 为双用途透镜，其运作为供投射臂 320 用的投射镜头以及供侦测臂 330 用的傅里叶变换镜头。投射臂 320 中的第一 WFC 组件 308 于最佳聚焦下，使得网格屏蔽 304 比已知光学系统 100 的网格屏蔽似乎较不锐利。因此，于最佳聚焦下，系统 300 的信号噪声比可能低于已知光学系统 100 的信号噪声比。然而，系统 300 允许网格屏蔽 304 遍及全幅对焦而被侦测，以使网格屏蔽 304 的矩心可能遍及全幅对焦而正确被决定。

[0059] 光源 302 可放射可见光或不可见光。举例而言，当系统 300 的用户不想要物体 318 (例如人类或动物) 察觉到影像撷取时，可能使用红外光。在替代实施例中，网格屏蔽 304、准直透镜 306 以及第一 WFC 组件 308 的一个或多个可能结合或并入单一组件 222 (以虚线为界限) 中，借以减少系统 300 所需要的部件数量与对准步骤，并潜在地降低制造成本及增加系统的质量及性能。网格屏蔽 304 可能是可移动或可移除的，以使投射臂 320 可能用来照明物体 318，借以使系统 300 类似照相机地撷取物体 318 的简单影像。

[0060] 分光器 310 允许系统 300 通过改变来自投影机臂 320 的光方向而被折迭，俾能使其共享条具有被侦测器 316 所接收的光的光路径。分光器 310 将来自光源 302 的输入光束 332 局部反射至物体 318。更明确而言，光束 332 以大约 45 度碰到分光器 310 的表面 334，其至少局部反射来自表面 334 的光束 332 以形成朝向物体 318 的光束 332a。光束 332a 碰到物体 318，返回散射并传输通过分光器 310，且可能通过可选择的第二 WFC 组件 314，并在侦测器 316 上形成照明物体 318 的影像。分光器 310 亦可能是可移动或可移除的，用以在不需要来自投射臂 320 的照明时，允许系统 300 的低光或低照明操作。分光器 310 的反射表面 334 譬如可能是半镀银镜。表面 334 可能由一种具有薄金属涂层 (例如铝) 或介电涂层的玻璃板所构成。表面 334 的反射对传输比率可随着材料与波长改变。

[0061] 在侦测臂 330 中，透镜 322 操作为目镜透镜，借以形成影像至侦测器 316 上。透镜 322 被置于距离侦测器 316 大概一个焦距。分光器 310 将来自物体 318 的光传输至侦测器 316。第二 WFC 组件 314 可能可选择地被包括在内以提供让物体 318 的取像用的全幅对焦，及 / 或以补偿因第一 WFC 组件 308 而产生的横向位移。

[0062] 在实施例中,第一 WFC 组件 208 或 308 可包括高阶可分离 (HOS) 组件与高阶近乎可分离 (HONS) 组件或弱非可分离组件。HOS 及 / 或 HONS 组件具有集中它们在水平与垂直方向 (大部分的网格影像沿着其所配向的方向) 的调变的益处。然而,HOS 及 / 或 HONS 组件亦可按照散焦产生点扩散函数 (PSF) 的横向位移,其意味着于各种深度的 3D 物体 318 的点在侦测器臂 330 的影像平面中具有不同的横向位移。

[0063] 第二 WFC 组件 314 可能被置于靠近侦测臂 330 的傅立叶平面 330A,以增加不仅物体 318 的撷取影像而且增加投射的网格屏蔽 304 的撷取影像的 DOF。傅立叶平面 330A 距离透镜 322 大概一个焦距且远离透镜 312 大概一个焦距。第二 WFC 组件 314 可能是与第一 WFC 组件 208 或 308 相同的型式,但被旋转俾能补偿或校正由第一 WFC 组件 308 所导致的横向位移,如现在要说明的。

[0064] 假设分光器 310 被使用以将投射与侦测臂 320 与 330 两者结合至一个系统 300 中,且分光器包括位于 45 度角的反射表面 334,则在包括第一 WFC 组件 308 的投射臂 320 的光轴线 350 与包括第二 WFC 组件 314 的侦测臂 330 的光轴线 360 之间将有 90 度的旋转。举例而言,投射臂 320 的光轴线 350 实质上垂直于侦测器臂 330 的光轴线 360。依据图 3 所示的坐标系统 370A,第一 WFC 组件 308 可具有在 x 与 y 坐标上的相位轮廓以及沿着 z 轴线方向的光轴线 350。依据图 3 所示的坐标系统 370B,第二 WFC 组件 314 具有在 X' 及 Y' 坐标上的相位轮廓以及沿着 Z' 轴线的光轴线 360。

[0065] 如图 3 所显示,第二 WFC 组件 314 的 Y' 轴线位在与第一 WFC 组件 308 的 Y 轴线相同的方向。第二 WFC 组件 314 的 Z' 轴线绕着第一 WFC 组件 308 的 Y 轴线顺时针旋转 90 度,以使第二 WFC 组件 314 的 Z' 轴线位在与第一 WFC 组件 308 的 x 轴线相同的方向。第二 WFC 组件 314 的 X' 轴线与第一 WFC 组件 308 的 z 轴线正相反,以使因第一 WFC 组件 308 而产生的横向位移可能由第二 WFC 组件 314 所补偿。第一 WFC 组件 308 具有两个末端 340A 与 340B,末端 340A 位于比末端 340B 更正的 x 坐标。关于第二 WFC 组件 314 相对于第一 WFC 组件 308 的方向,吾人可以想象第二 WFC 组件 314 可从第一 WFC 组件 308 的末端 340A,绕着第一 WFC 组件 308 的 Y 轴线逆时针方向旋转 90 度。在 90 度旋转的后,第二 WFC 组件 314 围绕第二 WFC 组件 314 的 Y' 轴线快速移动 180 度。在旋转的后,第二 WFC 组件 314 的端 355B 位于比第二 WFC 组件 314 的第二端 355A 更正的 X' 坐标。第二 WFC 组件的末端 355A 与 355B 分别对应至末端 340A 与 340B。这种方式的在网格屏蔽 304 与侦测器 316 之间的所有点通过第一与第二 WFC 组件 308 与 314 而经历大概相同的相位调变量,从而按照散焦补偿任何因第一 WFC 组件 308 而产生的横向位移。

[0066] 通过在第一 WFC 组件 208 或 308 中使用一种三次或 HOS 函数,大部分的调变被集中在 x 与 y 方向,于此网网格线不失真,譬如 60%、80%、90%或更高。换言之,第一 WFC 组件 208 或 308 被设计成用以沿着网网格线 (例如图 7-9 的网网格线 702、802 与 902) 集中大部分的相位调变。

[0067] 在实施例中,第一与第二 WFC 组件可包括弱非可分离函数 (weakly non-separable function)。第一 WFC 组件的弱非可分离函数可能被表示成:

$$[0068] \quad P(x,y) = \sum_i^N \sum_j^N \alpha_i x^i + \beta_j y^j + \gamma x^i y^j \quad \text{方程式 (1)}$$

[0069] 于此, i 与 j 为从 1 开始的正整数, 且 N 为最高的多项式阶数。实际上, N 通常受限于大约 5, 其乃因为较高阶数项的效果通常会由于制造公差的实际限制而失去。第二 WFC 组件 314 的弱非可分离函数可能被表示成:

$$[0070] \quad P(X', Y') = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i (-X')^i + \beta_j (-Y')^j + \gamma (-X')^i (-Y')^j \quad \text{方程式 (2)}$$

[0071] 于此, i 与 j 为从 1 开始的正整数, 且于此减号表示绕着第二 WFC 组件 314 的光学轴线 360 旋转 180 度, 如以前所说明的。系数 α 与 β 可能相等或可能不相等。当系数 γ 等于零时, 弱非可分离函数变成高阶可分离函数。第一 WFC 组件 308 可包括高阶可分离函数, 被表示成:

$$[0072] \quad P(x, y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i x^i + \beta_j y^j \quad \text{方程式 (3)}$$

[0073] 第二 WFC 组件 314 可包括高阶可分离函数, 被表示成:

$$[0074] \quad P(X', Y') = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i (-X')^i + \beta_j (-Y')^j \quad \text{方程式 (4)}$$

[0075] 在特定实施例中, 第一 WFC 组件 308 的高阶可分离函数可能是三次函数, 被表示成:

$$[0076] \quad P(x, y) = \alpha x^3 + \beta y^3 \quad \text{方程式 (5)}$$

[0077] 第二 WFC 组件 314 的三次函数表示成:

$$[0078] \quad P(x, y) = -(\alpha X'^3 + \beta Y'^3) \quad \text{方程式 (6)}$$

[0079] 系数 α 与 β 可能相等或可能不相等。

[0080] 在替代实施例中, 第二 WFC 组件 214 或 314 可能不同于第一 WFC 组件 214 或 314。举例而言, 第二 WFC 组件 214 或 314 可具有循环对称函数。循环对称函数并未补偿因第一 WFC 组件 208 或 308 而产生的横向位移, 且更进一步使物体的影像模糊不清。然而, 循环对称函数促进相当自然的并可具有相当少的人工制品的影像的生产。因此, 循环对称函数可能非常适合于在使用侦测臂 330 以撷取取悦人类观众的影像时的应用。循环对称函数可能被表示成:

$$[0081] \quad P(\rho) = f(\rho) \quad \text{方程式 (7)}$$

[0082] 于此, $\rho^2 = x^2 + y^2$, 而 ρ 为侦测器臂 330 的傅立叶平面 330A 的半径, 且 $f(\rho)$ 为高阶多项式。

[0083] 第二 WFC 组件 214 或 314 可能是可移动或可移除的, 用以撷取并不需要全幅对焦的场景 (例如当使用系统 200 或 300 作为照相机时)。

[0084] 在替代实施例中, 第一 WFC 组件 208 或 308 可能是循环对称, 以使投射网网格线较佳是并未受到取决于聚焦的横向位移。然而, 调变不宜均匀地散布遍及所有方向且未被集中在不失真网网格线的方向。于此组态中, 第二 WFC 组件 214 或 314 亦可能是循环对称以供 EDOF 用。如上所述, 在某些实施例中, 第二 WFC 组件 214 或 314 是可移动或可移除的。

[0085] 图 4-33 包括于聚焦与散焦下的网格与单点的仿真的灰阶影像、于聚焦与散焦下的网格与单点的等高线图, 以及于聚焦以及于各种数量的散焦下的 3D 网图中的模拟的

PSF。这些图为了不具有 WFC 组件的已知系统 100, 以及为了具全幅对焦的光学系统 200 或 300 (亦即, 利用例示的第一 WFC 组件 208 或 308) 两者而提供。系统 200 或 300 胜过已知系统 100 的潜在优点系在以下的后续段落中被证明。

[0086] 图 4-6 为于最佳聚焦下或分别于零个波的散焦、五个波的散焦以及八个波的散焦下的由图 1 的已知光学系统 100 所看到的网格的灰阶影像, 于此波被定义成来自光源 (例如来自图 1 的投影机 102) 的照明光的中心波长。现在参见图 4, 于最佳聚焦下的灰阶影像 400 清楚显示网格。与灰阶影像 400 比较而言, 于五个波的散焦下的图 5 的灰阶影像 500 是模糊不清的。现在参见图 6, 于八个波的散焦下的灰阶影像 600 甚至比灰阶影像 500 更模糊不清。在灰阶影像 500 与 600 中不能清楚看出网网格线。影像 400、500 与 600 相关于它们的最大值是被标准化。一般而言, 已知系统 100 于大约半波的散焦下停止工作。

[0087] 图 7-9 为分别于最佳聚焦、五个波的散焦以及八个波的散焦下的由具全幅对焦的光学系统 200 或 300 所看到的网格的灰阶影像。使用于所有模拟的 WFC 相位函数为具有六个波的总相位偏差的三次函数, 其在数学上由下述方程式而取得:

$$[0088] \quad P(x, y) = 1.5(x^3 + y^3) \quad \text{方程式 (8)}$$

[0089] 于此, x 与 y 被标准化到 -1 至 1 的范围跨越函数的程度 (例如, 跨越 WFC 组件 208、308 或 314 的任何的一个的宽度), 其中对应于光轴线, $x = y = 0$ 。

[0090] 具体言之, 图 7 显示包括网网格线 702 的灰阶影像 700, 图 8 显示包括网网格线 802 的灰阶影像 800, 而图 9 显示包括网网格线 902 的灰阶影像 900。如通过比较图 4 至图 7 可明白到的, 系统 200 或 300 于最佳聚焦下并未取像出像系统 100 样清楚的网网格线。然而, 系统 200 或 300 较佳是能够于比系统 100 更大数量的散焦下清楚地取像网网格线。举例而言, 如图 8 与 9 所示, 系统 200 或 300 可以于五个波或八个波的散焦下清楚地取像网网格线, 而系统 100 无法于这些数量的散焦下取像网网格线, 如网网格线不是可区别的图 5 与 6 所示。

[0091] 图 10-12 为通过已知系统 100 的灰阶影像 400、500 以及 600 的模拟等高线图。如图 10 所示, 通过已知系统 100 的等高线图 1000 清楚显露于最佳聚焦下的网网格线 1002。然而, 于五个波的散焦下的等高线图 1100 以及于八个波的散焦下的等高线图 1200 并未显示任何网网格线, 如分别显示于图 11 与 12 中。换言之, 已知系统 100 的网网格线画质对于景深是敏感的。

[0092] 图 13-15 分别为灰阶影像 700、800 以及 900 的模拟等高线图 1300、1400 以及 1500。因此, 等高线图 1300 表示于最佳聚焦下由系统 200 或 300 所产生的影像, 等高线图 1400 表示于五个波的散焦下由系统 200 或 300 所产生的影像, 以及等高线图 1500 表示于八个波的散焦下由系统 200 或 300 所产生的影像。在每一个等高线图 1300、1400 以及 1500 中分别看得见网网格线 1302、1402 以及 1502。影像是相关于它们的最大振幅而被标准化, 且在等高线图 1300、1400 以及 1500 的每一个中显示总共 10 个等高线。如图 13-15 所显示的, 具有第一 WFC 组件 208 或 308 的光学系统 200 或 300 显露于最佳聚焦与散焦下的网网格线。换言之, 系统 200 或 300 对于网格屏蔽 210 或 304 的景深比已知系统 100 更不敏感。

[0093] 图 16-18 为分别于最佳聚焦、五个波的散焦以及八个波的散焦下的由已知系统 100 所取像的单点的仿真灰阶影像 1600、1700 以及 1800。这些影像显示在已知系统 100 的模拟中用单点屏蔽代替网格屏蔽, 以使系统 100 的投影机 102 的点扩散函数 (PSF) 被获得。

如图 16 所示,影像 1600 几乎显露于最佳聚焦下的单点 1602。然而,于散焦下的影像 1700 与 1800 不再局限于点。取代的是,影像 1700 显露圆形光点 1702 以及在圆形光点 1702 的中心中的最亮光点 1704,而影像 1800 显露大的圆形光点 1802 以及在圆形光点 1802 的中心中的最亮光点 1804。圆形光点 1802 系大于圆形光点 1702。

[0094] 图 19-21 为分别于最佳聚焦、五个波的散焦以及八个波的散焦下的由光学系统 200 或 300 所取像的点的仿真灰阶图案 1900、2000、2100。这些图显示在仿真中用单点屏蔽代替网格屏蔽 304,以使取像系统 300 的投影机臂 320 的点扩散函数 (PSF) 被获得。灰阶图案 1900 (图 19) 包括形成具有直角的实质上三角形形状的多个点 1904,并于三角形形状的直角的角落显露最暗点 1902。因为图 19 中的倒灰阶 (inverted gray scale),最暗光点 1902 实际上为实际影像中的最亮光点。

[0095] 因为三次函数的使用,三角形形状为沿着水平与垂直轴线的延伸相位调变的结果。举例而言,如果已经使用循环对称相位函数,则所产生的 PSF 亦将是循环对称的。

[0096] 因为遍及相反符号的第三阶相位偏差 (三次相位函数) 的迭加的第二阶相位偏差 (散焦) 的结果,横向位移出现,借以产生具有按照散焦变化的斜率的线性相位项。线性相位斜率的傅立叶变换为与斜率成比例 (因此,与散焦的数量成比例) 的空间的转变。另一方面,散焦的数量系与于场景的既定点与最佳聚焦的平面之间的距离成比例。

[0097] 图 20 的灰阶图案 2000 包括主要沿着 X 轴线与 Y 轴线的多个点 2004 以及靠近 X 轴线与 Y 轴线的交点的最暗光点 2002。图 21 的灰阶图案 2100 包括靠近 X 轴线与 Y 轴线的多条暗条纹 2106。灰阶图案 2100 亦包括远离 X 轴线与 Y 轴线的多条较亮的条纹 2104。为清楚起见,影像使用倒色阶 (亦即,暗光点表示较强的光亮度的点)。因此,“亮条纹”实际上将具有比“暗条纹”更少光。最暗光点 2102 靠近 X 轴线与 Y 轴线的交点。因此,在系统 200 或 300 中可见的灰阶图案 2000 与 2100 的光点 2002 与 2102 似乎比在系统 100 中看到的各个光点 1702 与 1802 更暗且更紧密的多,借以表示一种侦测于散焦下的单点的更好的能力。

[0098] 在于最佳聚焦下的小光点 1602 以及于散焦下的较大的圆形光点 1702 与 1802 (图 16-18) 之间的差异,系远大于在于最佳聚焦下的最暗光点 1902 以及于散焦下的最暗光点 2002 与 2102 之间的差异。换言之,系统 200 或 300 比已知系统 100 更好可以于各种数量的散焦下侦测单点,其亦可通过比较已知光学系统 100 的投影机 102 的 PSF 与系统 200 或 300 的投射臂 220 或 320 的 PSF 而说明。取像系统通常假设是线性的,在这情况下应用迭加。亦即,任何影像可被分解成点的总和,且正确侦测或投射单点的能力表示正确侦测或投射形成任何既定影像的多重点的能力。

[0099] 图 22-24 为分别于最佳聚焦、五个波的散焦以及八个波的散焦下的已知系统 100 的投影机 102 的 PSF 2200、2300 以及 2400 的 3D 图式。于最佳聚焦下的 PSF 2200 相当不同于在五个波的散焦下的 PSF 2300 以及于八个波的散焦下的 PSF 2400。主峰部 2202、2302 以及 2402 分别对应至图 16、17 以及 18 的最暗或最亮光点 1602、1704 以及 1804。最暗光点 1602 将是在实际影像中的最亮光点,因为灰阶系被倒转以使影像在白色 (纸) 背景中更易于想象。在 PSF 之间的大差异暗示其难以于五个波的散焦或八个波的散焦下由已知系统 100 侦测点。

[0100] 图 25-27 为分别于最佳聚焦、五个波的散焦以及八个波的散焦下的具有第一 WFC

组件 208 或 308 的系统 200 或 300 的投射臂 220 或 320 的 PSF2500、2600 以及 2700 的 3D 图式。参见图 25, 于最佳聚焦下的 PSF 2500 包括主峰部 2502 以及多个靠近主峰部 2502 的小峰部 2504。参见图 26, 于五个波的散焦下的 PSF 2600 包括主峰部 2602 以及多个靠近主峰部 2602 的弱峰部 2604。参见图 27, 于八个波的散焦下的 PSF 2700 仍然包括主峰部 2702 以及多个靠近主峰部 2702 的弱峰部 2704。于八个波的散焦下的弱峰部 2704 似乎比于五个波的散焦下的弱峰部 2604 更显著。主峰部 2502、2602 以及 2702 分别对应至图 19、20 以及 21 的最暗光点 1902、2002 以及 2102。不管聚焦或散焦, 主峰部 2502、2602 以及 2702 可以由具有第一 WFC 组件 208 或 308 的光学系统 200 或 300 所侦测。换言之, 在系统 200 或 300 中, 于最佳聚焦下的 PSF 2500 类似于于散焦下的 PSF 2600 与 2700。相较之下, 在系统 100 中, 于最佳聚焦下的 PSF 2200 与于散焦下的 PSF2300 与 2400 非常不同。更明确而言, 系统 200 或 300 的 PSF 于大量的散焦下, 甚至于八个波的散焦下并未改变太多。

[0101] 图 28-30 为分别于最佳聚焦、五个波的散焦以及八个波的散焦下的通过已知系统 100 的灰阶影像 1600、1700 以及 1800 的模拟等高线图 2800、2900 以及 3000。图 28-30 是相关于它们个别的最大振幅被标准化, 且于每个情况下使用十个等高线阶层。又, 将等高线图 2800、2900 以及 3000 的围绕最大的等高线阶层放大, 俾能清楚显示细节。

[0102] 图 31-33 为分别通过光学系统 200 或 300 的灰阶影像 1900、2000 以及 2100 的模拟等高线图 3100、3200 以及 3300。如于图 31 所显示的, 于最佳聚焦下的等高线图 3100 包括主峰部 3102, 其具有最大数目的封闭环路且靠近 X 轴线与 Y 轴线的交点。等高线图 3100 亦包括多个较小峰部 3104, 其具有较少封闭环路且远离 X 轴线与 Y 轴线以及 X 轴线与 Y 轴线的交点。影像 1900 的最暗光点 1902 对应至等高线图 3100 的主峰部 3102。因为图 19 中的倒灰阶, 最暗光点 1902 实际上为实际影像中的最亮光点。

[0103] 参见图 32, 于五个波的散焦下的等高线图 3200 包括主峰部 3202, 其具有靠近 X 轴线与 Y 轴线的交点的最大数目的封闭环路。等高线图 3200 亦包括多个轴向峰部 3204 以及多个较小峰部 3206, 轴向峰部 3204 具有延长的环路且沿着 X 轴线与 Y 轴线, 而较小峰部 3206 具有小数目的封闭环路且远离 X 轴线与 Y 轴线以及 X 轴线与 Y 轴线的交点。

[0104] 参见图 33, 于八个波的散焦下的等高线图 3300 类似于在最佳聚焦下的等高线图 3100 以及在五个波的散焦下的等高线图 3200。等高线图 3300 包括主峰部 3302, 其具有靠近 X 轴线与 Y 轴线的交点的最大数目的封闭环路。然而, 等高线图 3300 的较小峰部 3304 具有较少环路且分别比等高线图 3100 与 3200 的较小峰部 3104 与 3206 更分布远离 X 轴线与 Y 轴线。请注意在图 31-33 中, 每个影像是相关于其各个最大振幅被标准化, 且每张图是围绕最大的等高线阶层被放大以便详细显示。又请注意, 在关于具全幅对焦的系统 200 或 300 的图 31-33 之间的比例尺差异比在关于已知系统 100 的图 28-30 之间的比例尺差异小得多。此种差异的理由为具有第一 WFC 组件 208 或 308 的取像系统 200 或 300 所提供的较大的 PSF 散焦不变性或全幅对焦。

[0105] 以下提供具全幅对焦的光学系统的额外例子。图 34 显示光学系统 300 的替代实施例 3400。系统 3400 包括投射臂 3420 与侦测臂 330。投射臂 3420 包括光源 3402、光学透镜 3404 以及实体媒介 3406。透镜 3404 被置于距离光源 3402 大概一个焦距, 凝聚来自光源 3402 的光, 并实质上提供实体媒介 3406 均匀的照明。投射臂 3420 亦包括分光器 310 以允许透镜 312 的双使用, 如关于系统 300 所说明的。实体媒介 3406 被置于距离双用透镜 312

大概一个焦距。计算的计算机产生全像片 (CGH) 被传送至实体媒介 3406。CGH 包括网格屏蔽的第一计算机表现 (未显示) 以及第一 WFC 组件 308 的傅立叶变换的第二计算机表现。系统 3400 中的侦测臂 330 与其它组件系与系统 300 相同。

[0106] 实体媒介 3406 可能是一种例如聚 (甲基丙烯酸甲酯) (PMMA) 的光学透明塑料, 其浮雕有一种利用由 CGH 算法所决定的相位变化调变透射光的透明性图案。PMMA 允许以相当低的成本创造一些 CGH。系统 3400 胜过系统 300 的一项优点为图 3 的网格屏蔽 304、透镜 306B 以及第一 WFC 组件 308 并不需要实体上存在。然而, 用以照明浮雕实体媒介 3406 的光源 3402 必须提供至少局部地相干光 (partially coherent light)。光源 3402 可能是雷射二极管, 以提供在光源之间的相当高的信号噪声比与效率。光源 3402 亦可以是 LED, 用以以比雷射二极管相对较低的成本提供令人满意的结果。

[0107] CGH 可能通过使用计算机算法而产生。期望影像的计算机表现首先由计算机算法所产生, 计算机算法包括网格屏蔽 304 的第一计算机表现以及第一 WFC 组件 308 的第二计算机表现。接着, 例如 Beamprop 的计算机算法计算出位于实体上设置有 CGH 的平面的光学波前。一般而言, 网格投射发生于 CGH 的傅立叶平面。CGH 可能通过使用一种 CGH 规定 (例如罗曼全息图 (Lohmann hologram)) 而被计算, 并以一种供实体媒介 3406 的制造用的形式, 譬如以于各种位置的变化高度的棒的形式, 或表面凸纹图案被提供。初始 CGH 可能通过期望影像的傅立叶变换而提供。然后, 中间 CGH 可能通过使用计算机算法而计算出以获得错误影像, 其为在期望影像与中间影像之间的差异。通过使用例如梯度下降法或重量微扰的最佳化技术, 中间 CGH 可能被修正, 直到最后的 CGH 获得在错误影像中的最小误差为止。应用光学, 第 5 卷, 第 6 期, 第 967-969 页 (1966) 的由 B. R. Brown 以及 A. W. Lohmann 所著的 "具有二进制屏蔽的复杂空间滤光 (Complex Spatial Filtering with Binary Masks)" 中提供关于 CGH 的更多细节。

[0108] 所属技术领域的技术人员将明白光学系统 200 或 300 可具有各种组态。在特定实施例中, 分光器 310 可能是可移动或可移除的, 例如在已知的影像撷取期间减少光的损失。分光器 310 并非 100% 反射, 且朝向物体 318 由分光器 310 所投射的至少某些光将会损失。

[0109] 在 3D 影像撷取中, 取像系统的体积分辨率 (volumetric resolution) 是受限于系统的能力, 用以辨别物体空间中的个别点, 并正确决定它们在 3D 空间中的位置。物体空间为在物体周围的物理空间。相较之下, 影像空间为在物体的影像周围的空间。举例而言, 在图 3 中, 关于投影机臂 320 的物体空间将是在网格屏蔽 304 周围, 而关于侦测器臂 330 的物体空间将是在物体 318 周围。物体 318 位在关于投影机臂 320 的影像空间中, 但位在关于侦测器臂 330 的物体空间中。侦测器 316 位在关于侦测器臂 330 的影像空间中。

[0110] 物体空间中的个别点可以由网格影像的交叉点的 "质心" 所决定, 亦即, 通过正确使网网格线矩心与它们的各个网格交叉点互有关联而决定。系统 200 或 300 的投射臂 220 或 320 的点扩散函数 (PSF) 关于散焦比已知系统 100 的投影机 102 的 PSF 实质上改变更少。此外, 第一 WFC 组件 208 或 308 在强度的调变中, 以最小损失提供景深的显著的增加。因此, 网网格线矩心可能在散焦后更清楚地被识别, 借以以一种大得多的 DOF 产生体积或空间分辨率的实质上的增加。结构照明通过收集遍及物体空间的较大体积中的信息, 来增加体积分辨率或空间分辨率。通过增加 DOF, 增加了体积的分辨率。

[0111] 虽然已说明数个实施例,但所属技术领域的技术人员将认定在不背离说明书的精神下可能使用各种修改、替代构造以及等效设计。此外,一些熟知数学导数与表达式、流程与元素尚未被说明,以便避免不必要的模糊化本说明书。因此,上述说明不应被视为限制说明书的范畴。

[0112] 因此吾人应注意到包括于上述说明中或显示于附图中的物质应被解释成例示的而非在限制意义中。权力要求意图覆盖于此所说明的通称与具体特征,与本方法与系统的范畴的所有陈述。

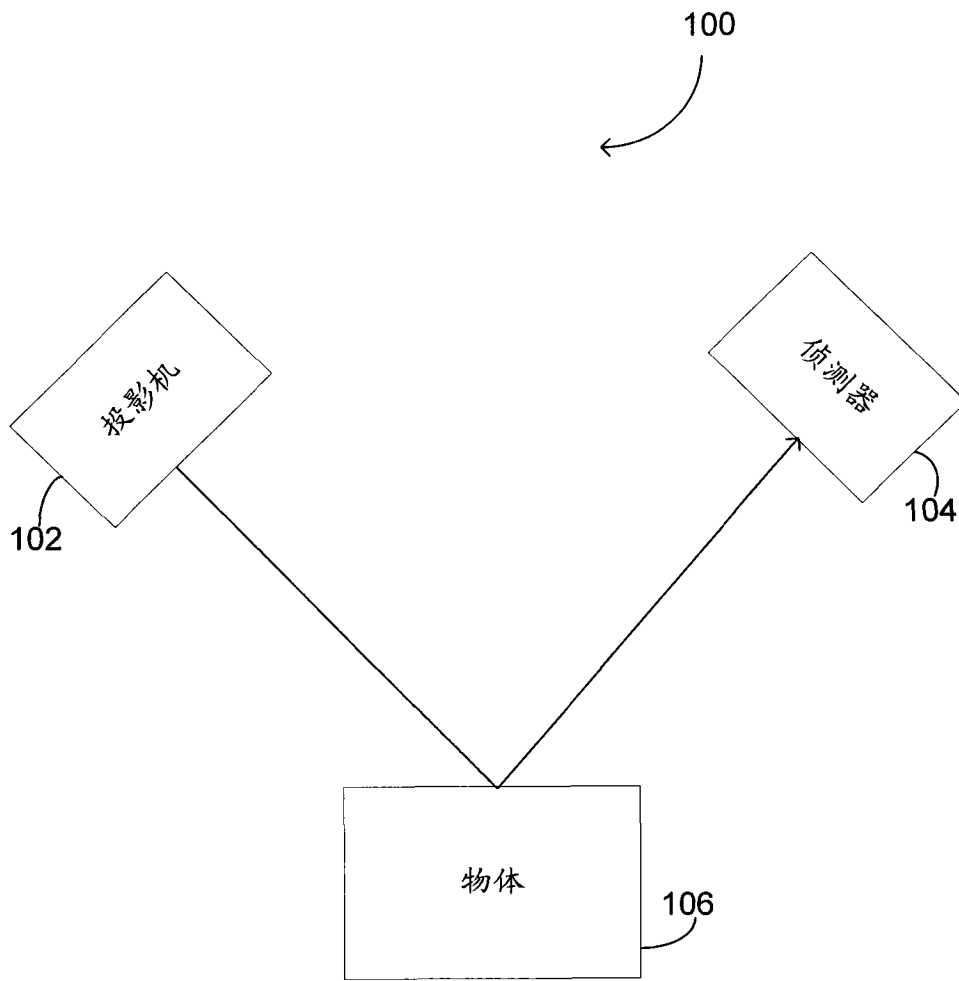


图 1

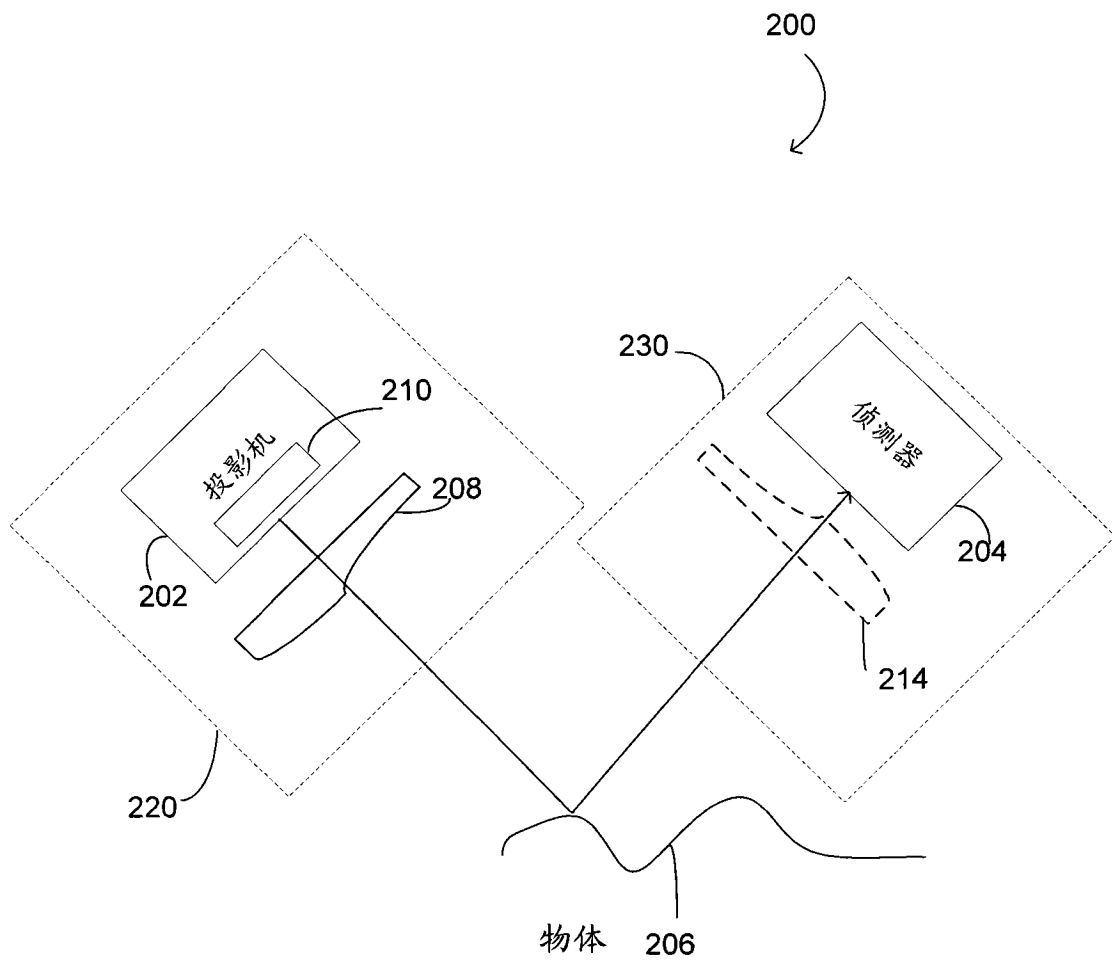


图 2

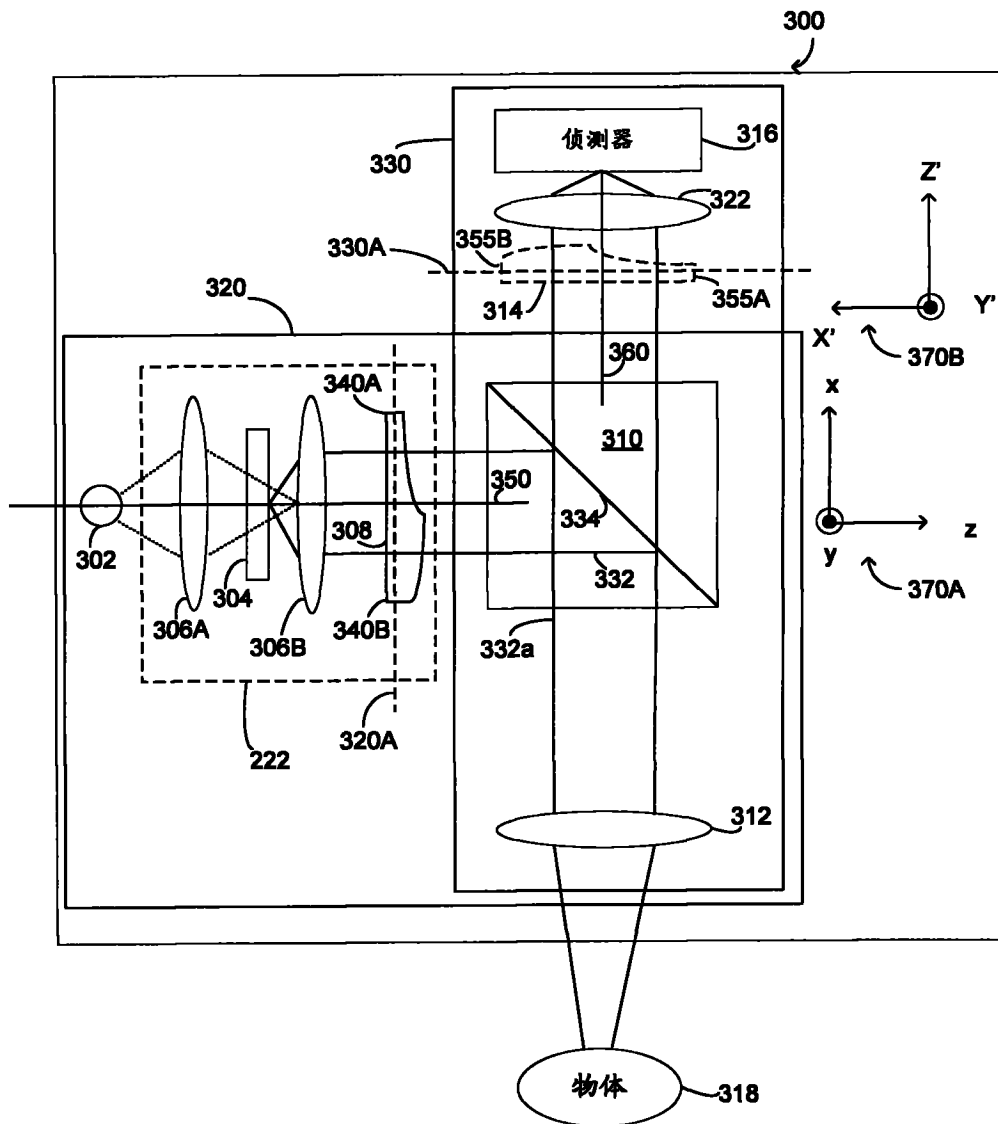


图 3

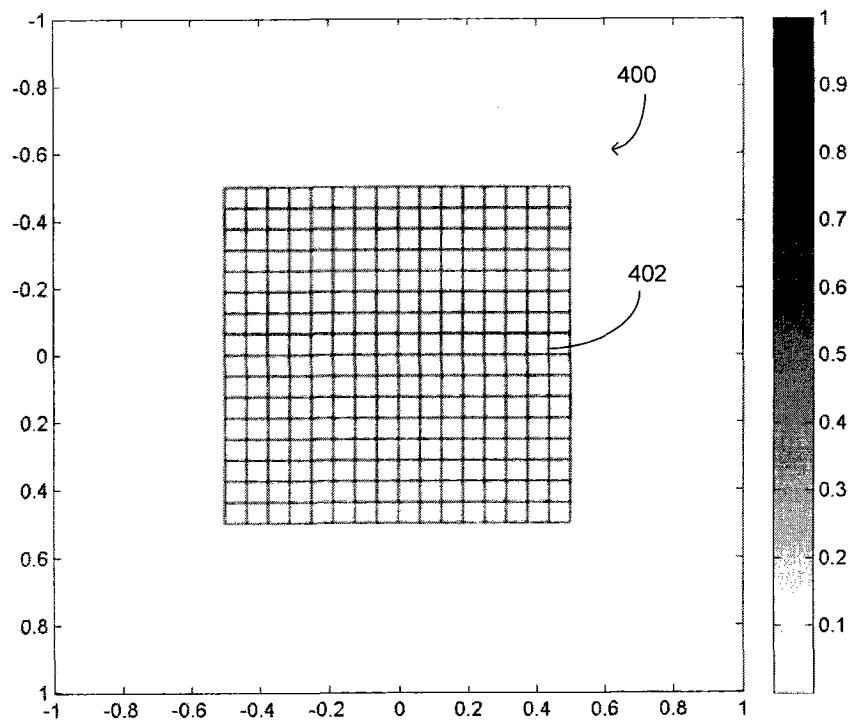


图 4

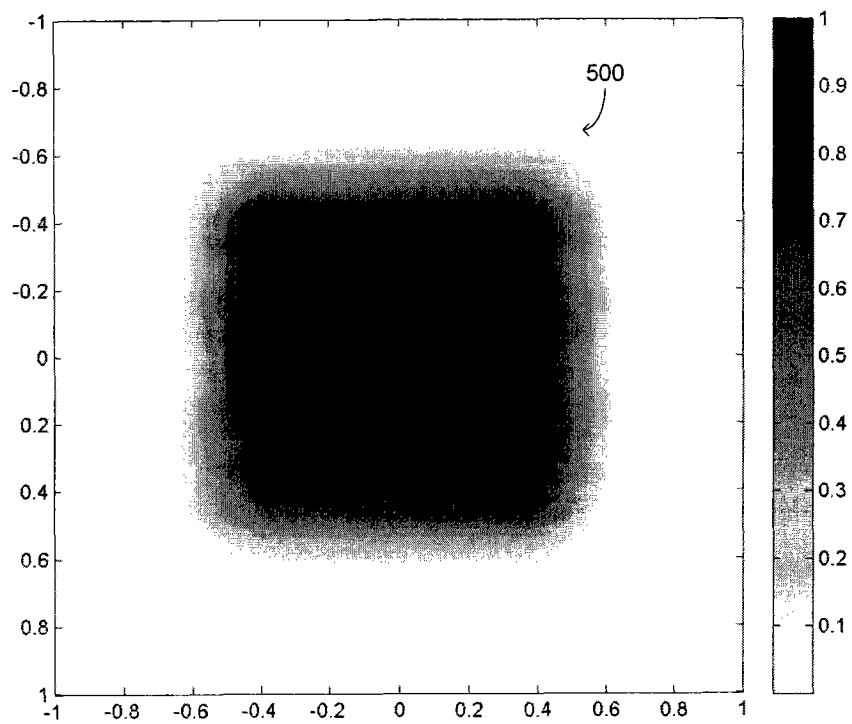


图 5

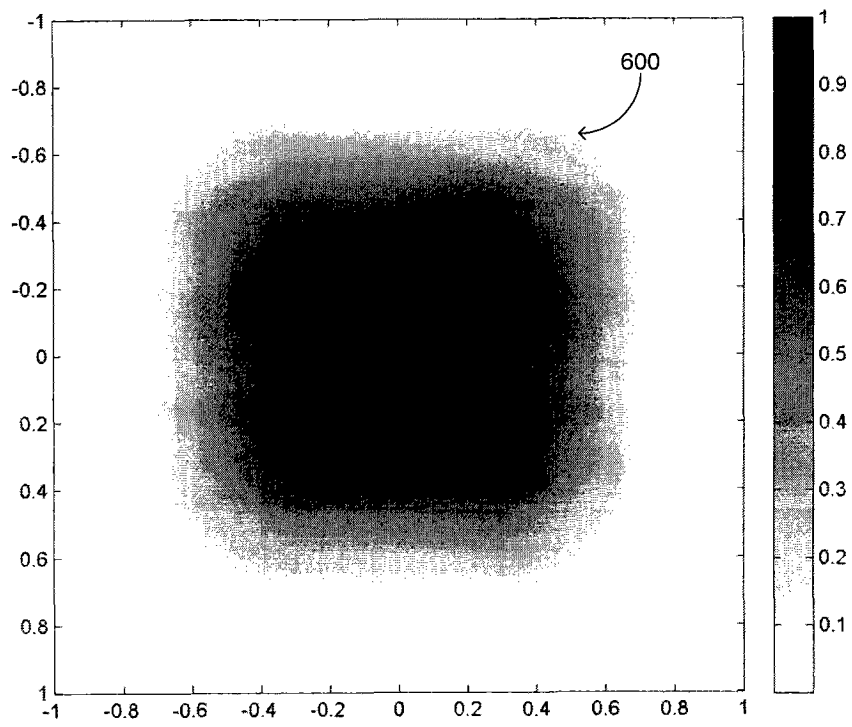


图 6

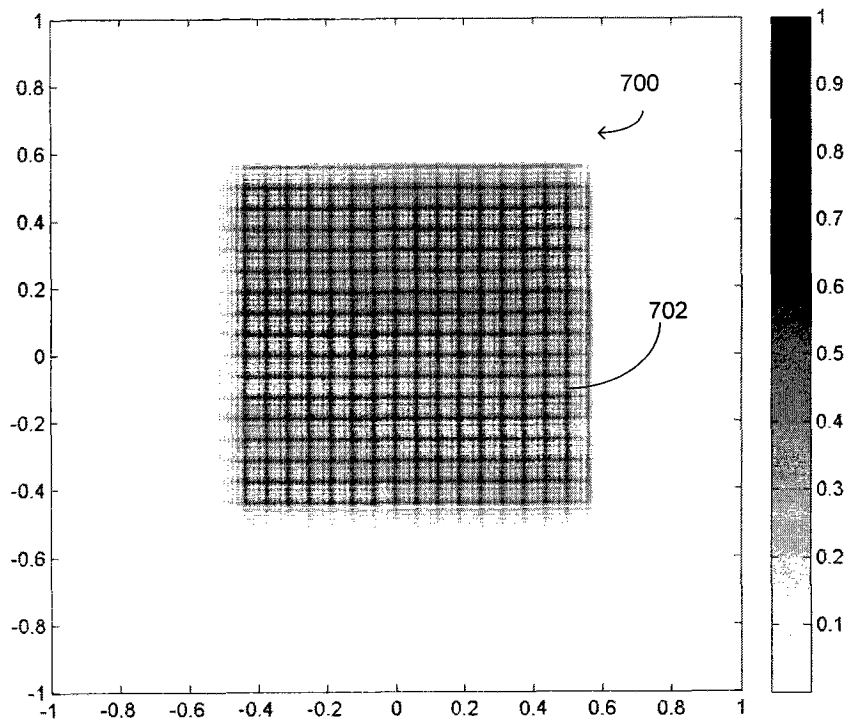


图 7

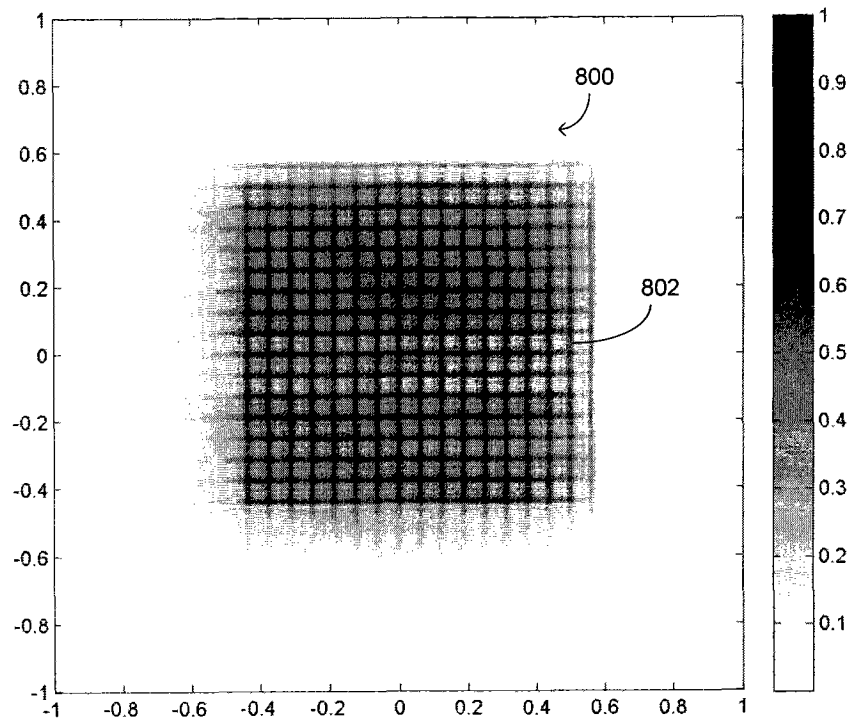


图 8

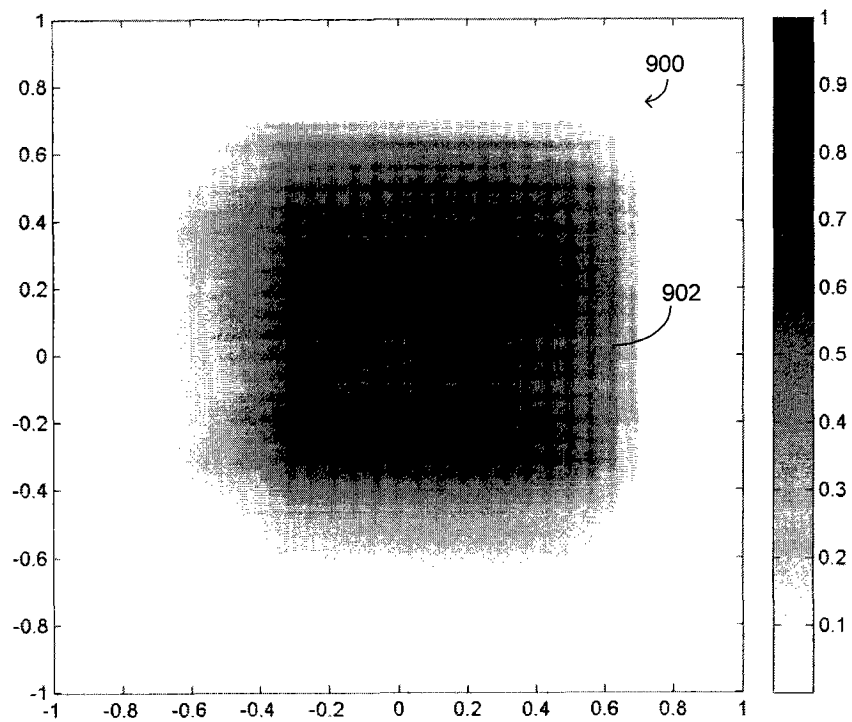


图 9

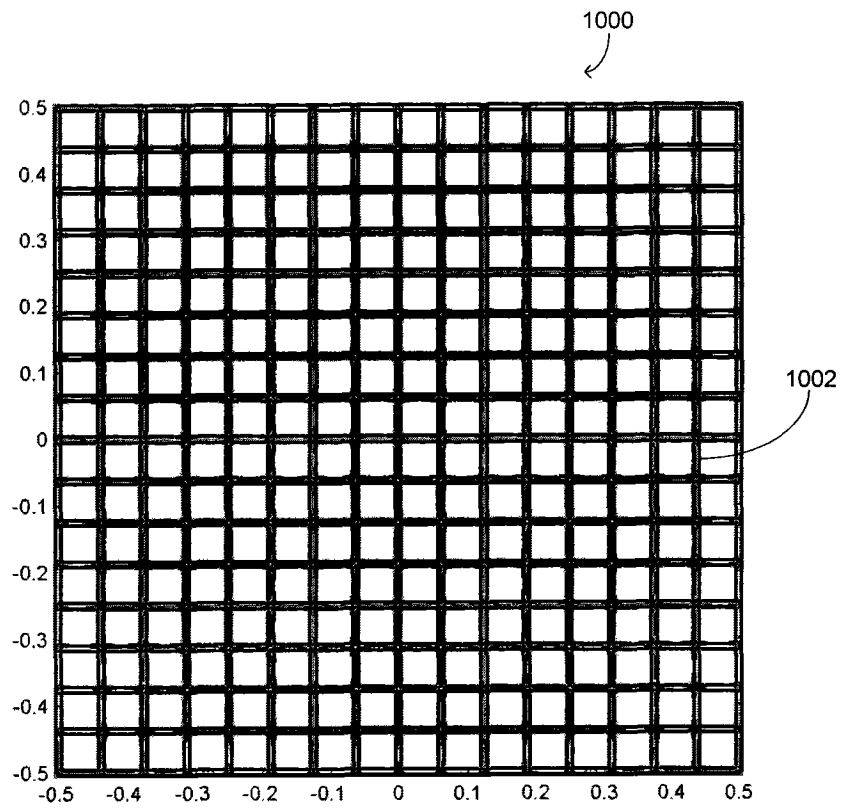


图 10

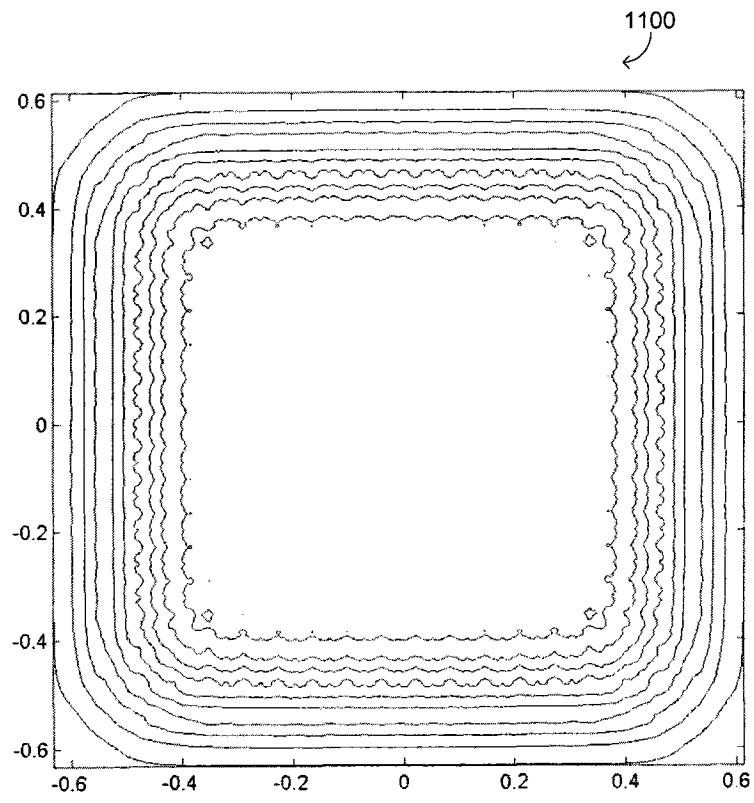


图 11

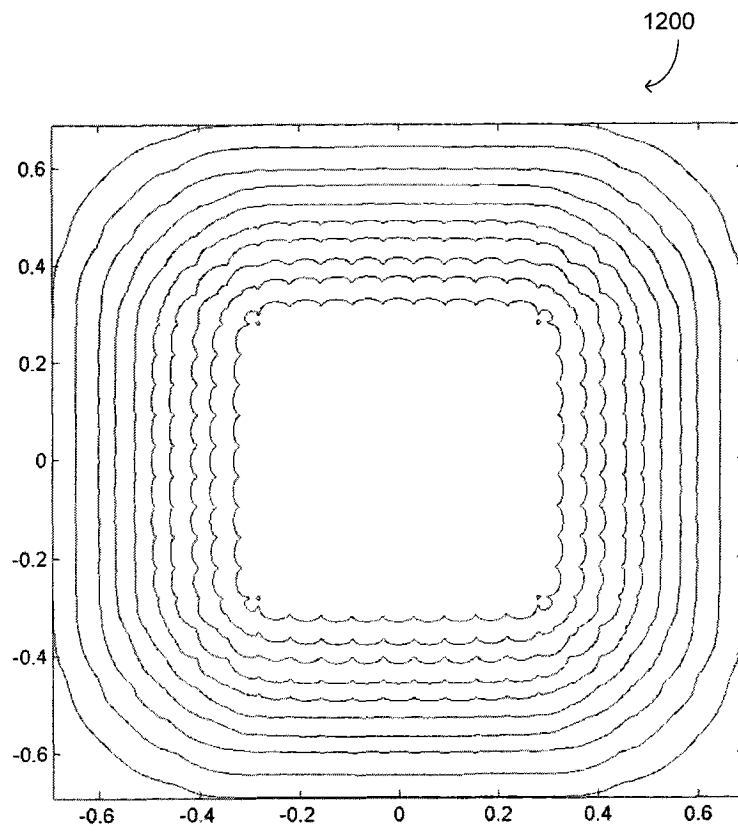


图 12

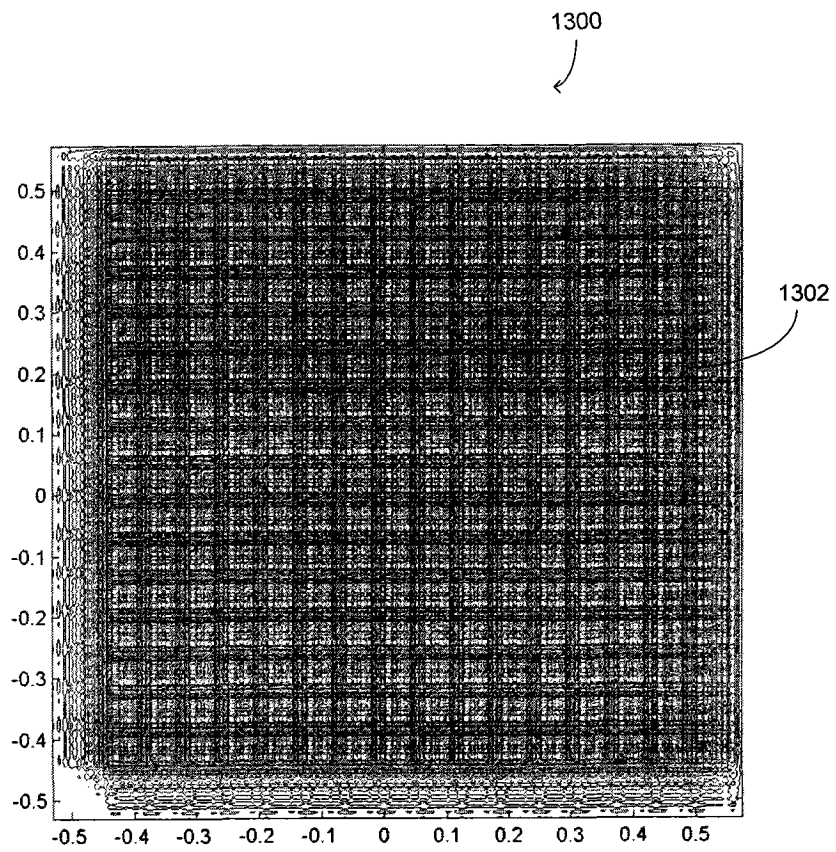


图 13

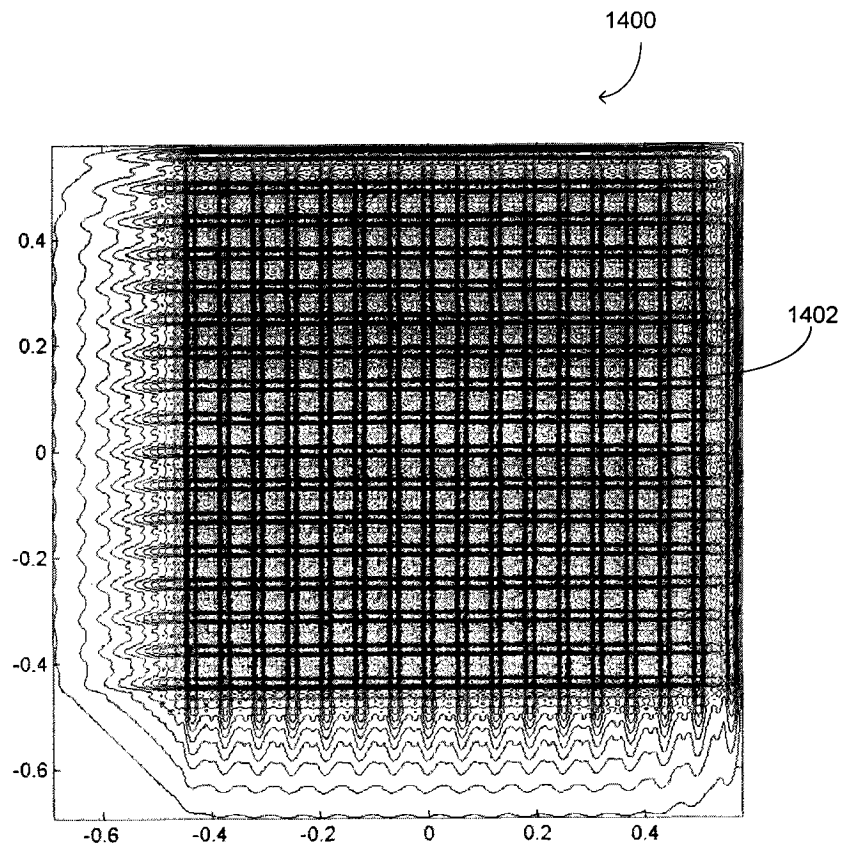


图 14

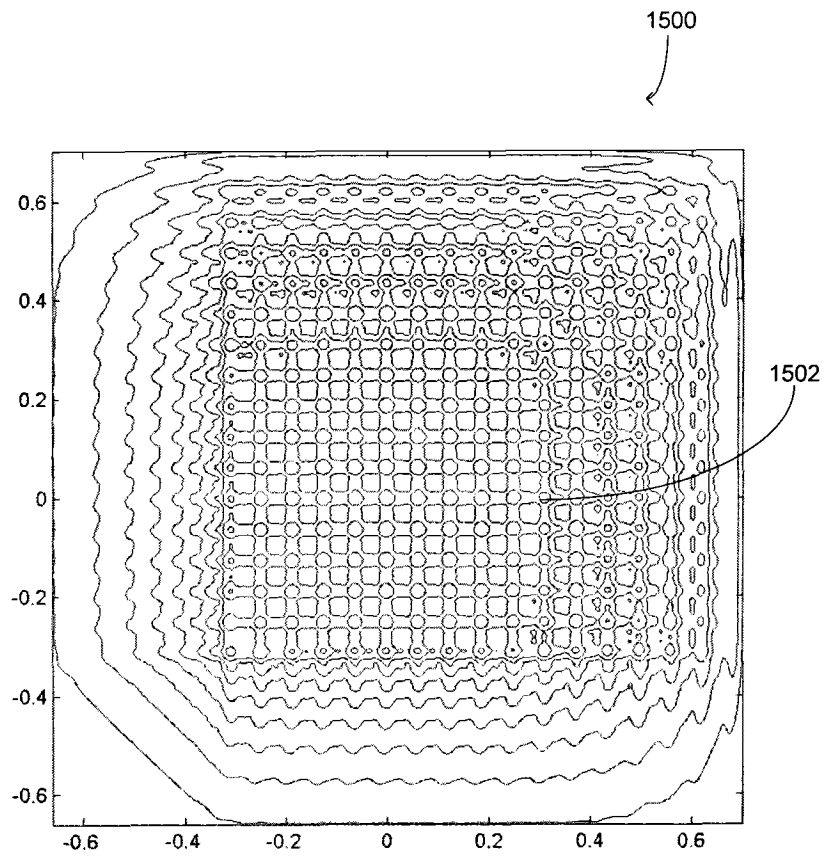


图 15

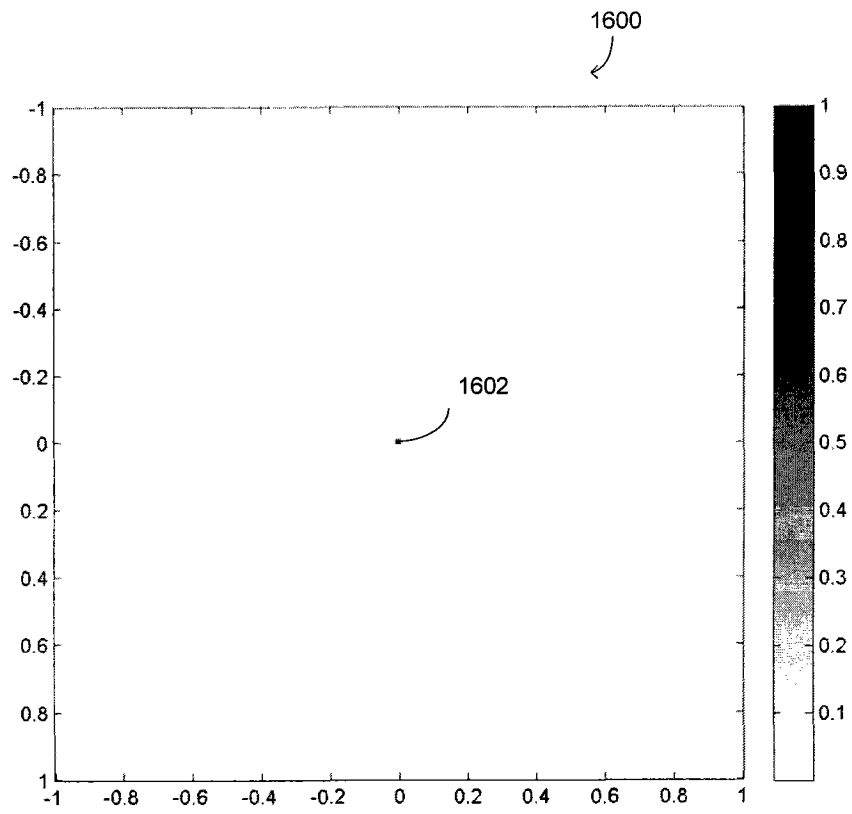


图 16

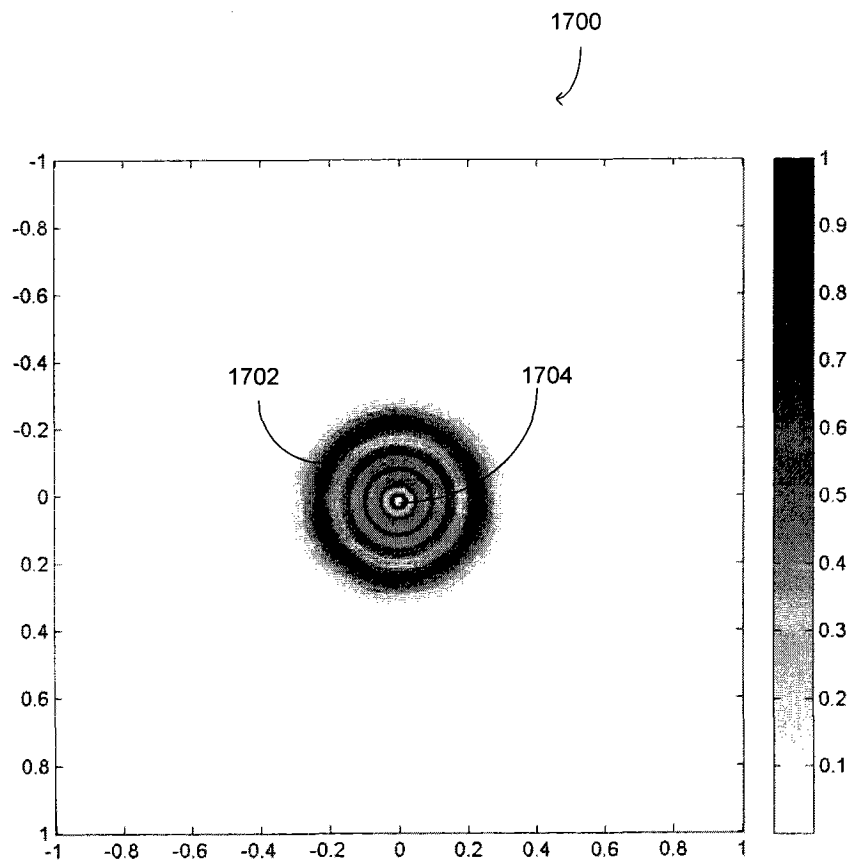


图 17

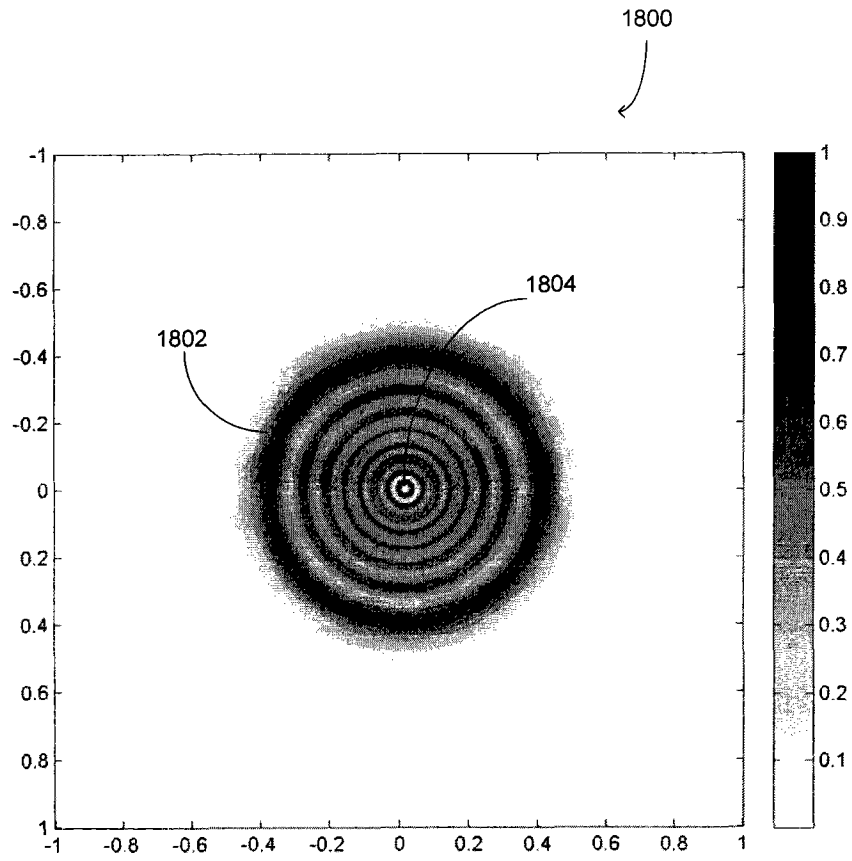


图 18

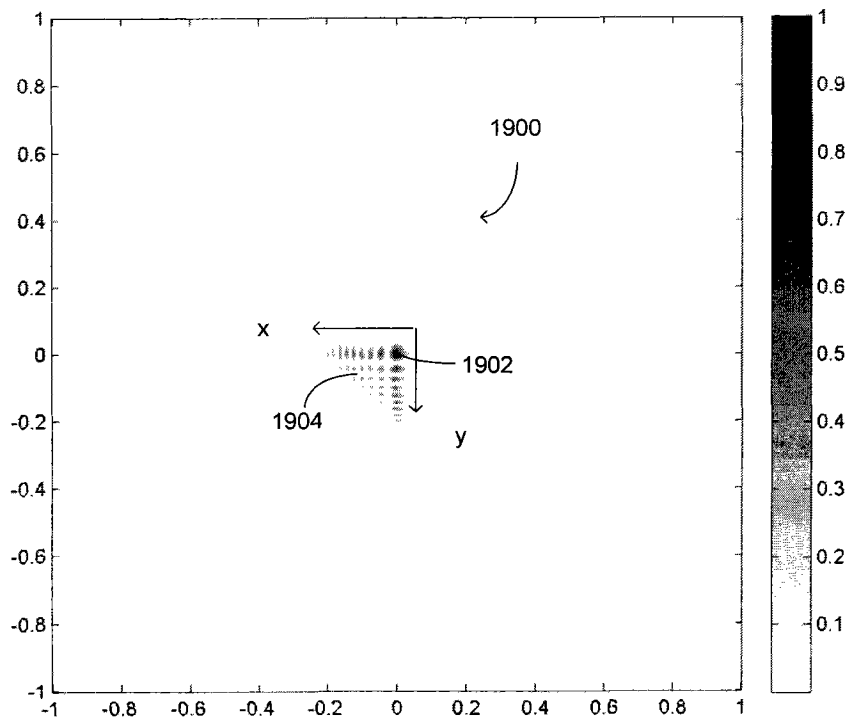


图 19

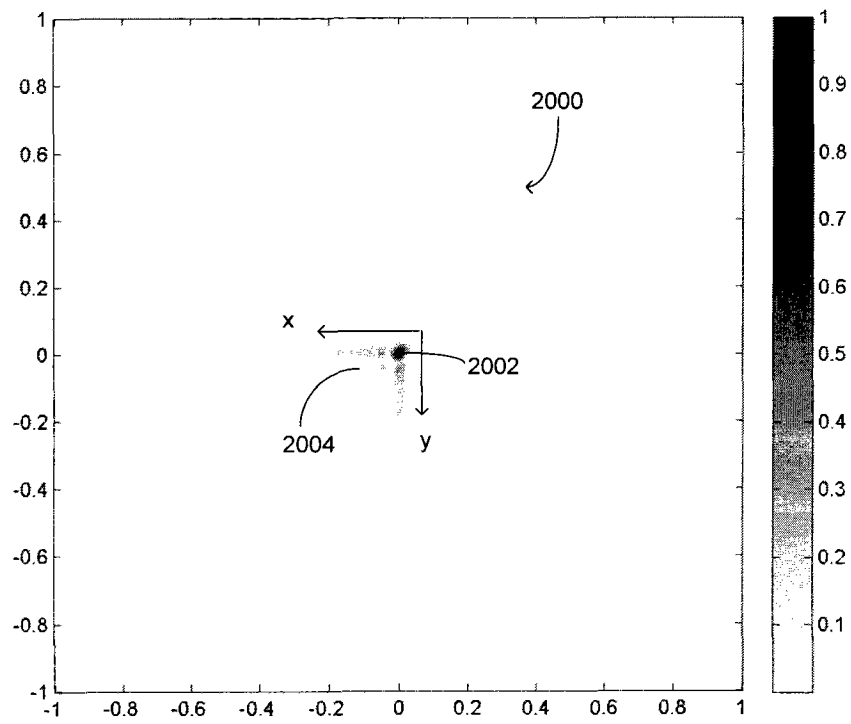


图 20

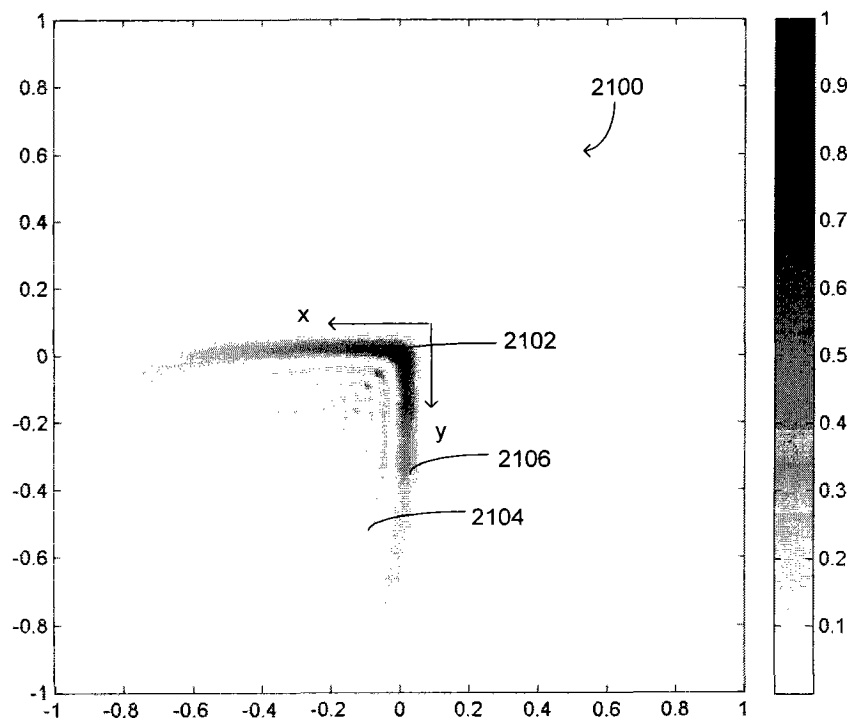


图 21

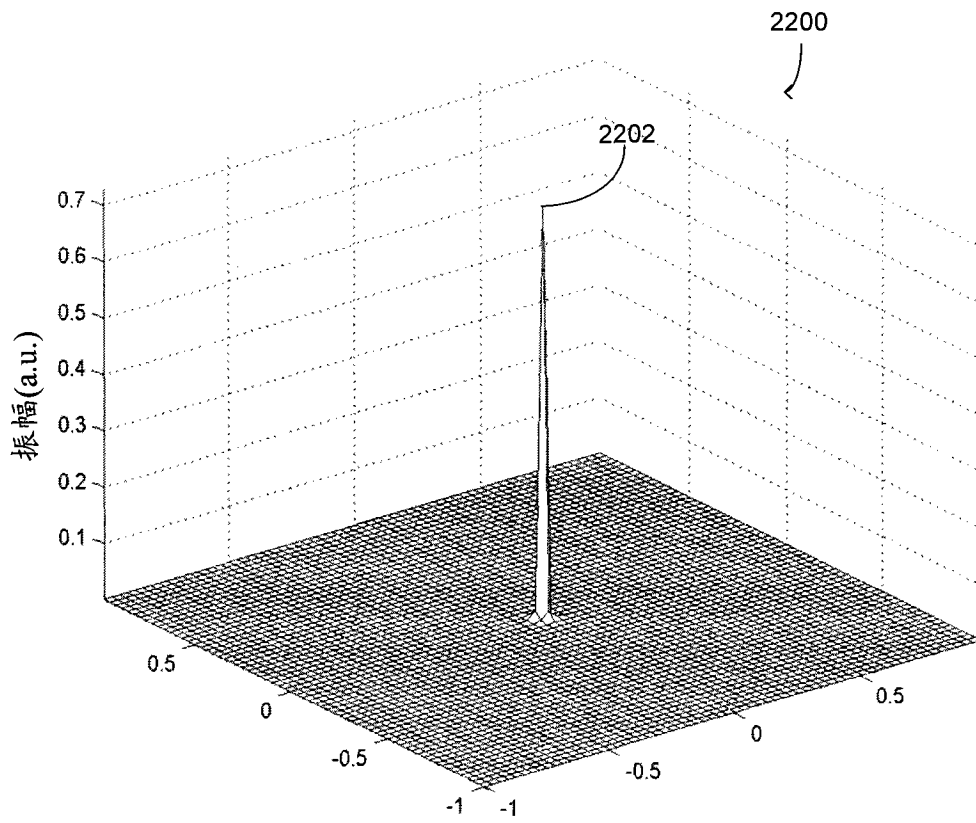


图 22

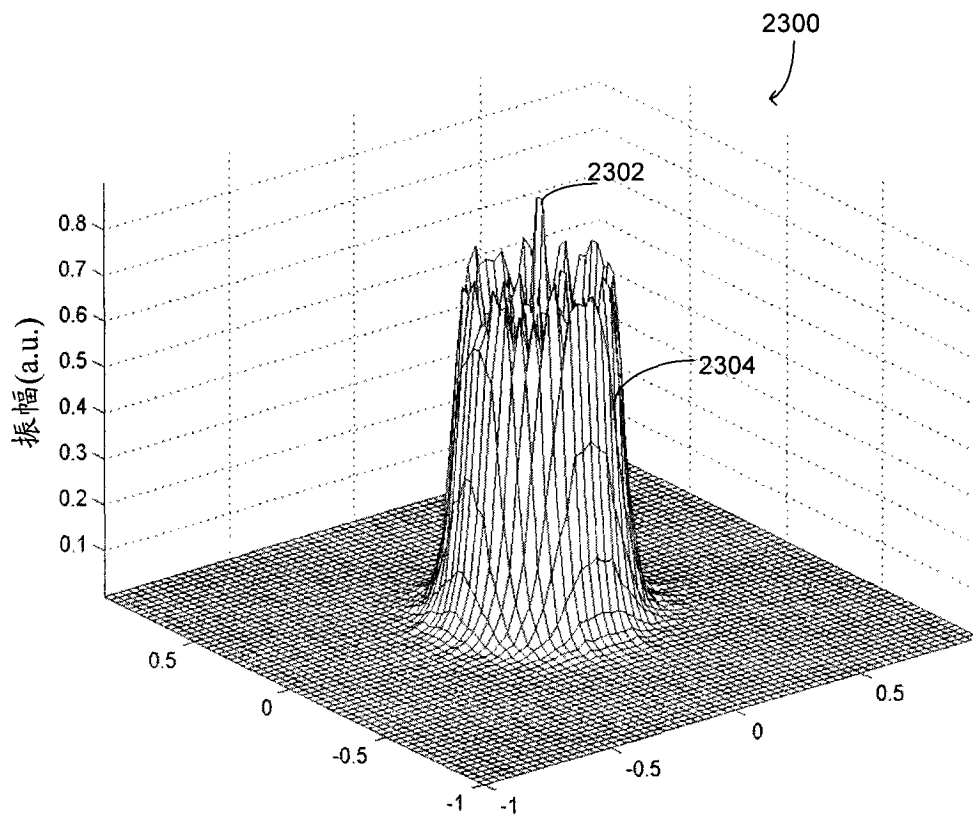


图 23

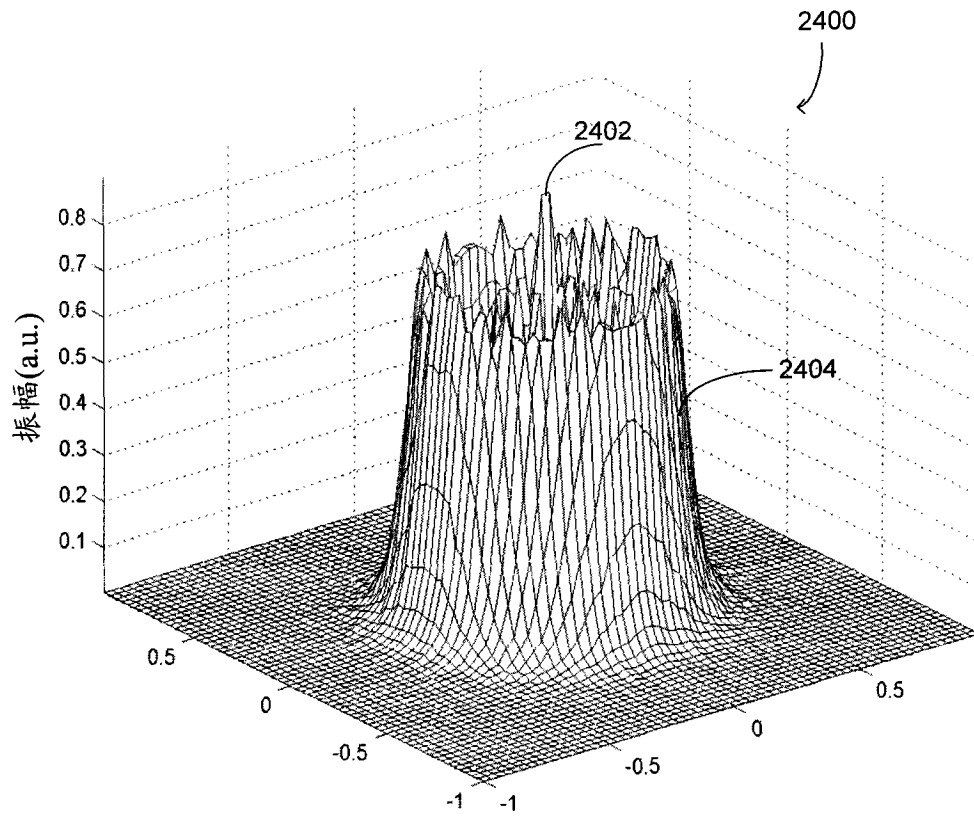


图 24

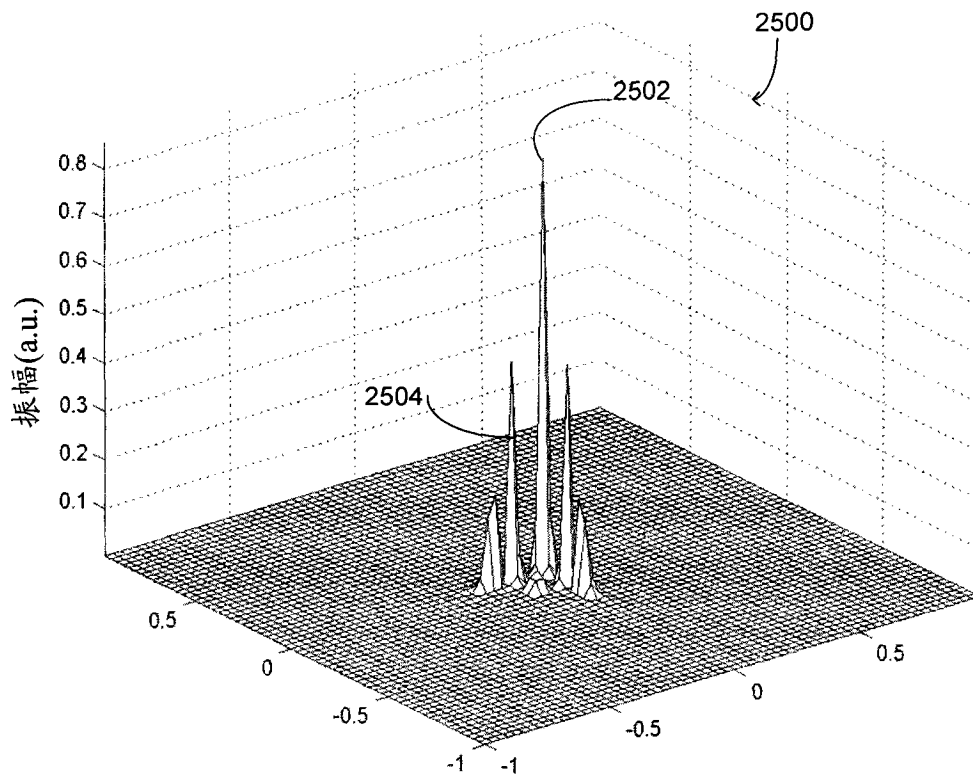


图 25

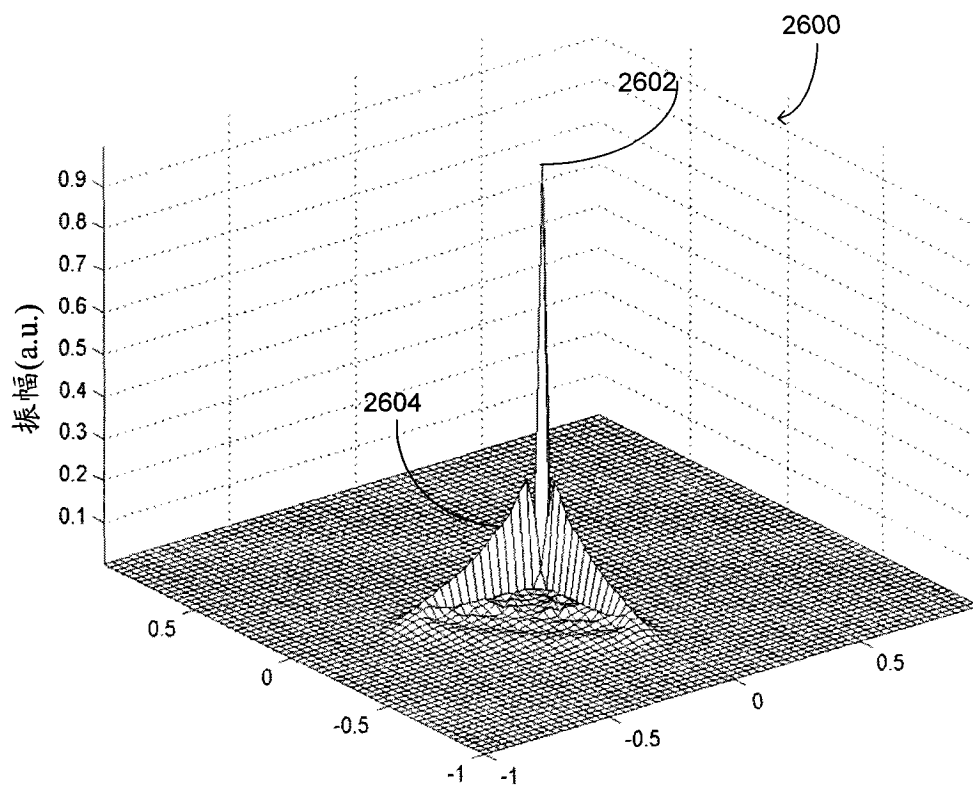


图 26

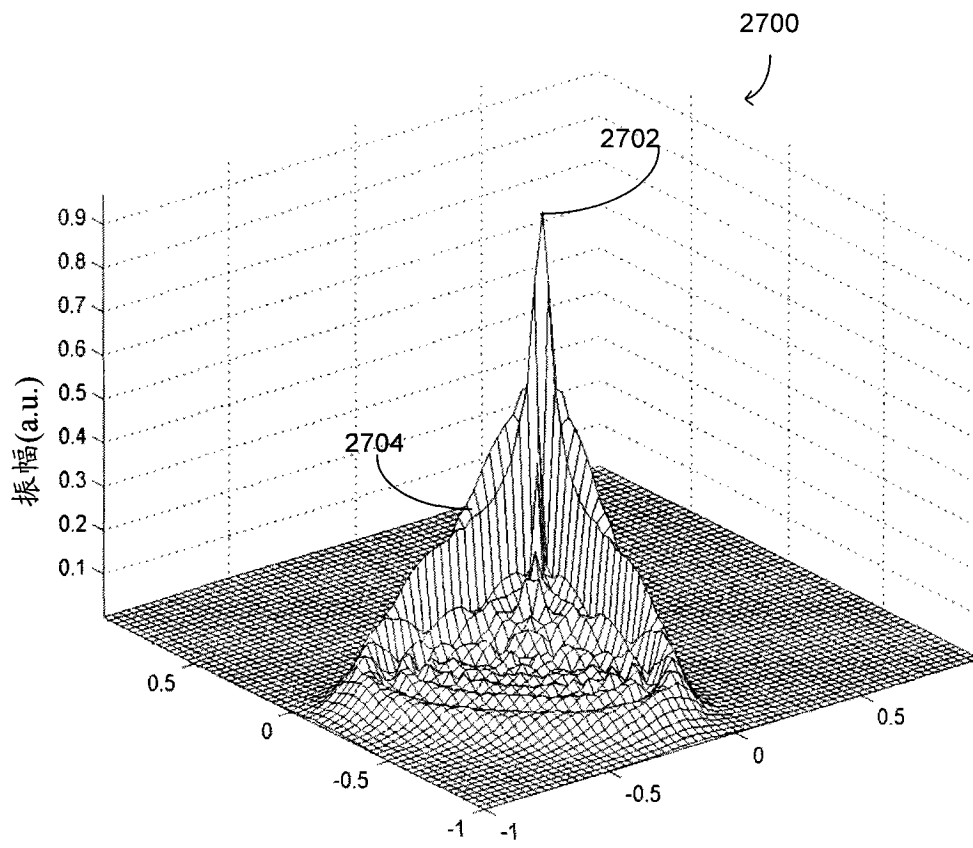


图 27

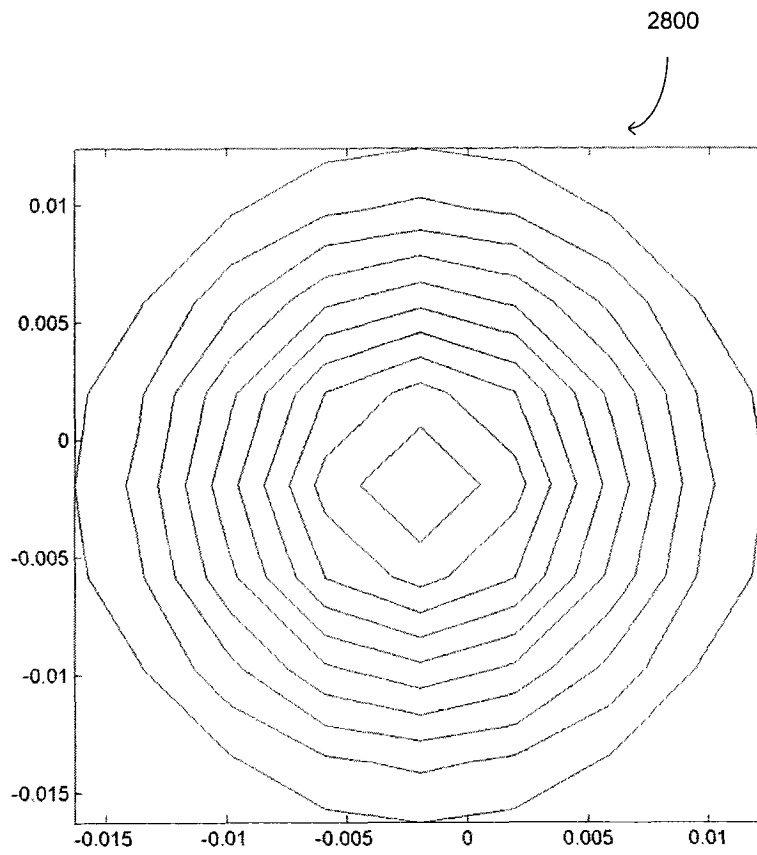


图 28

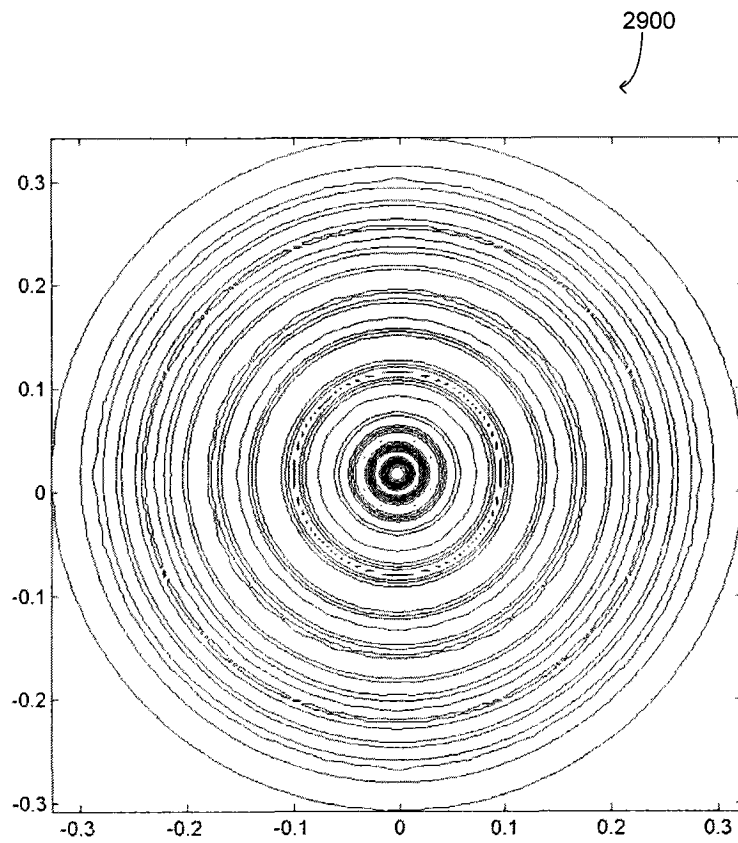


图 29

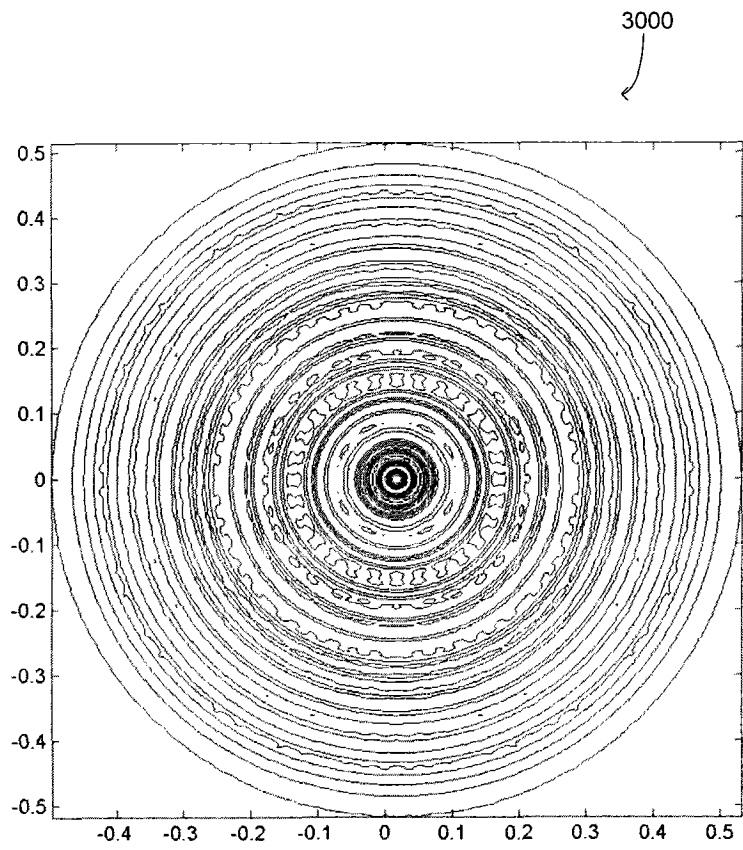


图 30

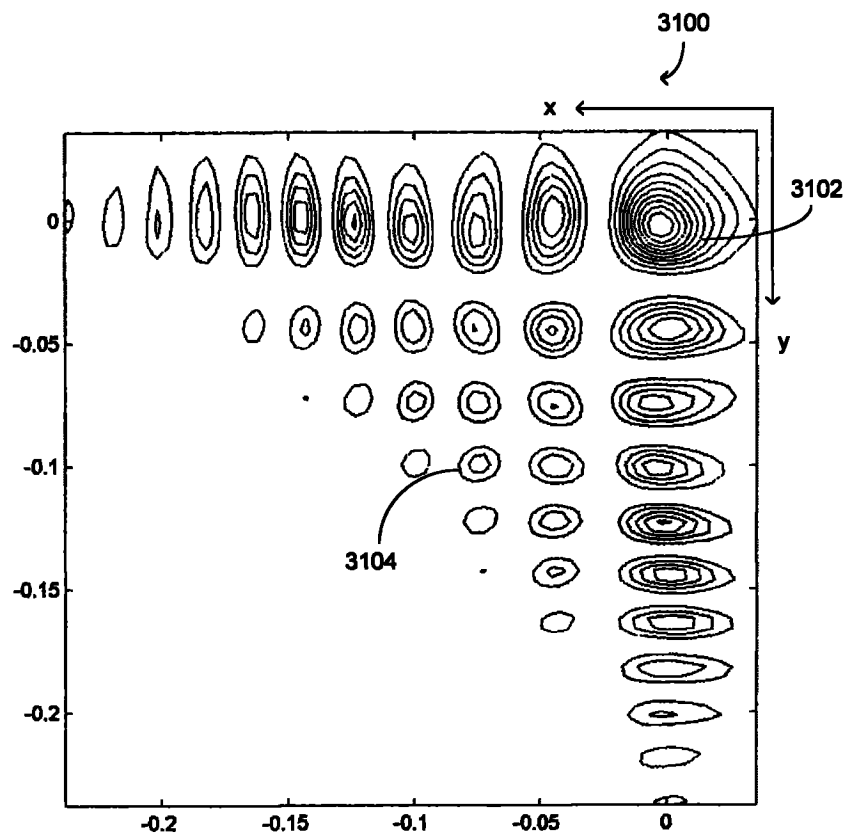


图 31

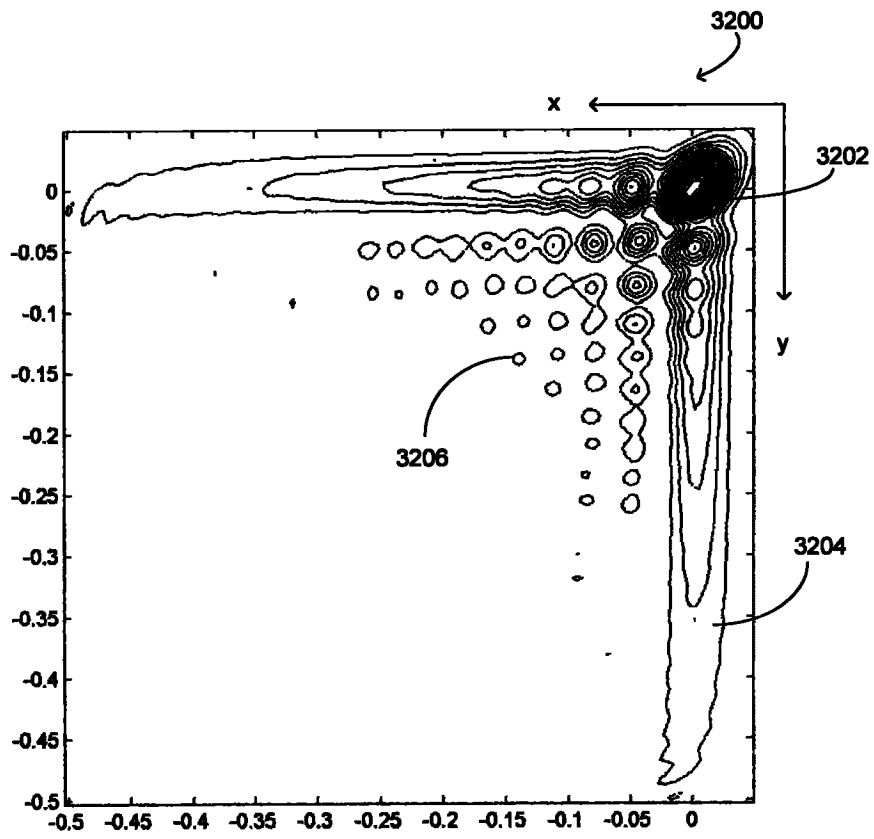


图 32

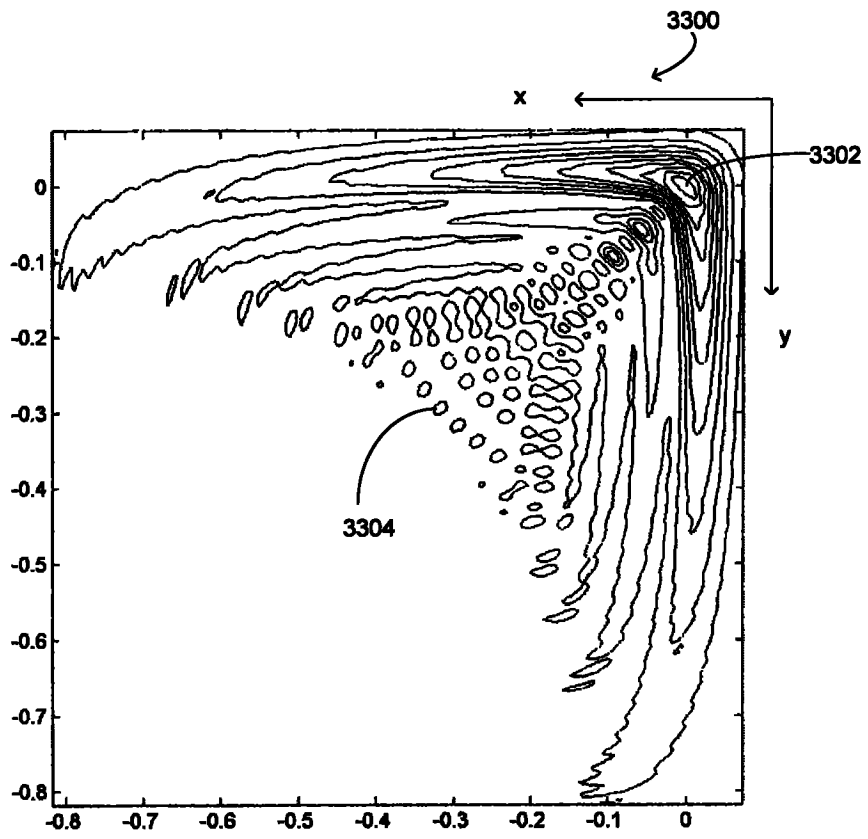


图 33

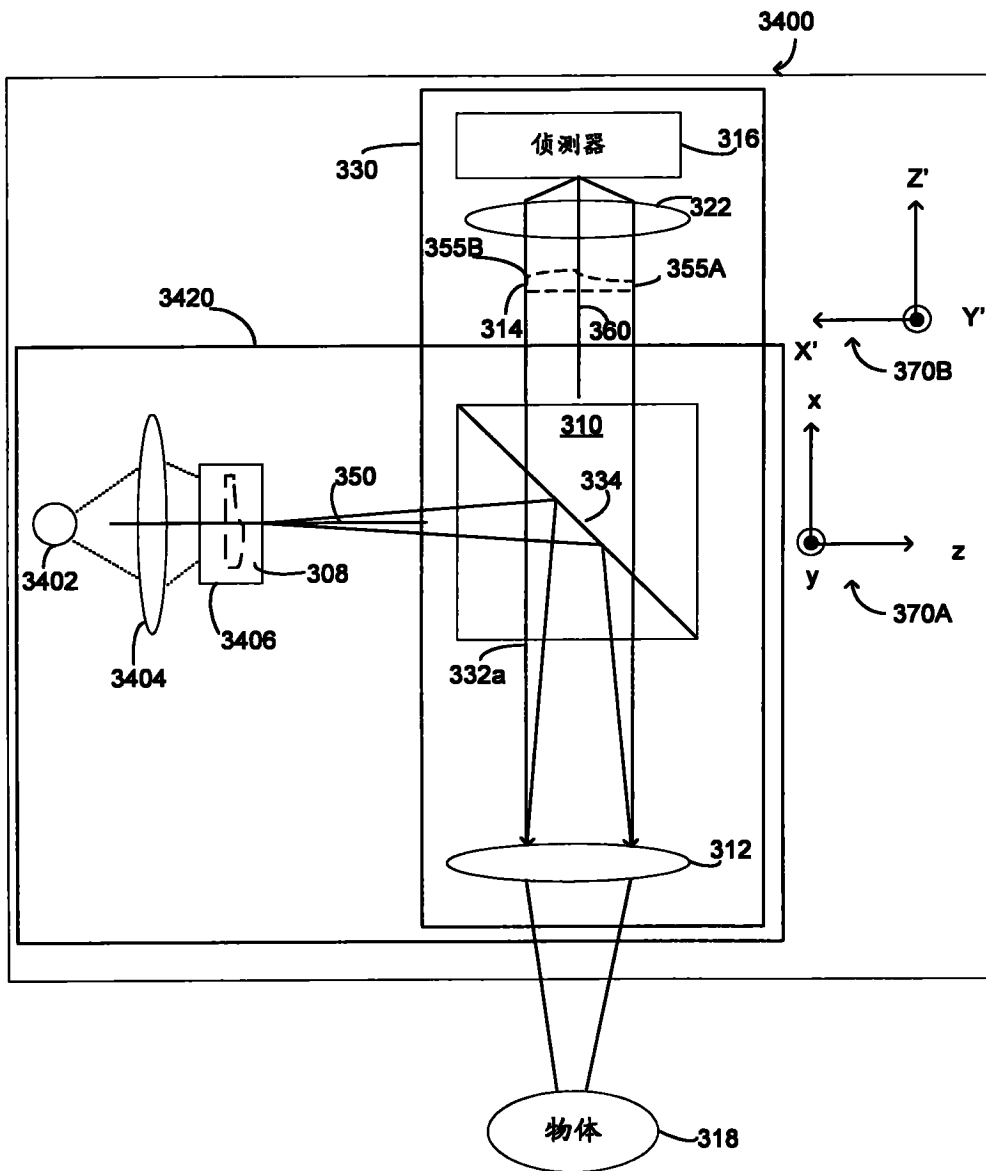


图 34