



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102227751 B

(45) 授权公告日 2015. 03. 04

(21) 申请号 200980147396. X

G01N 23/20(2006. 01)

(22) 申请日 2009. 09. 23

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

0817650. 5 2008. 09. 26 GB

US 2003/0215120 A1, 2003. 11. 20, 全文.

CN 1504931 A, 2004. 06. 16, 全文.

WO 2005/106531 A1, 2005. 11. 10, 全文.

EP 1973076 A1, 2008. 09. 24, 全文.

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 05. 26

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/GB2009/051243 2009. 09. 23

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/035033 EN 2010. 04. 01

(73) 专利权人 相位聚焦有限公司

地址 英国南约克郡

(72) 发明人 保罗·罗伯茨 安德鲁·迈登

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限

责任公司 11240

代理人 余刚 吴孟秋

(51) Int. Cl.

G06T 11/00(2006. 01)

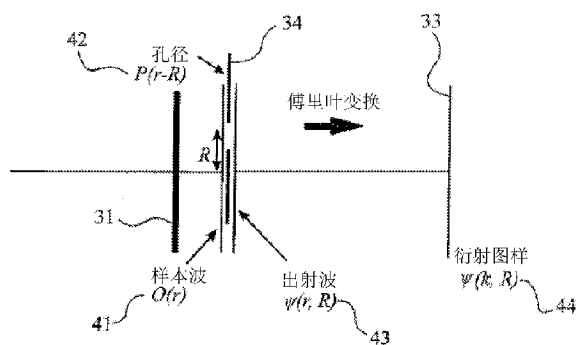
权利要求书6页 说明书11页 附图5页

(54) 发明名称

提供目标对象区域图像数据的方法和装置

(57) 摘要

本发明的实施方式提供了用于提供目标对象 (31) 的区的图像数据的基于计算机的方法, 包括以下步骤: 估计 (706) 表示目标对象的所述区的第一子区 (501, 503) 的至少一个特征的第一中间对象函数; 估计 (706) 表示目标对象的所述区的第二子区 (502, 504) 的至少一个特征的第二中间对象函数; 以及组合 (707) 第一和第二中间对象函数, 以形成表示目标对象 (31) 的区的至少一个特征的组合对象函数。



1. 一种用于提供目标对象的区的图像数据的基于计算机的方法,其特征在于,包括以下步骤:

在所述目标对象处提供来自辐射源的入射辐射;

通过相对于所述目标对象重新定位入射辐射或孔径来选择所述目标对象的多个区域;

检测由所述目标对象散射的辐射的强度;

估计 (706) 表示所述目标对象的所述区的第一子区 (501,503) 的至少一个特征的第一中间对象函数;

估计 (706) 表示所述目标对象的所述区的第二子区 (501,503) 的至少一个特征的第二中间对象函数;以及

组合 (707) 所述第一中间对象函数和第二中间对象函数,以形成表示所述目标对象的所述区的至少一个特征的组合对象函数,

其中,估计每个中间对象函数包括:

将所述对象函数与表示所述目标对象处入射辐射的至少一个特征的探针函数相乘;

响应于所述相乘的结果提供出射波函数;

传播所述出射波函数,以提供预期散射图样的估计;以及

根据检测到的强度校正所述预期散射图样的至少一个特征。

2. 根据权利要求 1 所述的基于计算机的方法,其中,至少部分地并行估计所述中间对象函数。

3. 根据权利要求 1 所述的基于计算机的方法,包括:将每个中间对象函数的所述估计分配给对应的计算单元 (601,602,603)。

4. 根据权利要求 1 所述的基于计算机的方法,包括:在计算单元 (601,602,603) 之间传递至少一个中间对象函数,以与至少一个其他中间对象函数组合。

5. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的基于计算机的方法,包括:估计另外的中间对象函数,每一个所述另外的中间对象函数均与所述目标对象的另外的子区相关,其中,所述另外的中间对象函数与所述第一中间对象函数和所述第二中间对象函数组合以形成所述组合对象函数。

6. 根据权利要求 5 所述的基于计算机的方法,其中,中间对象函数的数量是预定的。

7. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的基于计算机的方法,其中,所述目标对象的所述区的每个子区均包括与所述目标对象的多个选定区域 (501,502,503,504) 相关的信息。

8. 根据权利要求 7 所述的基于计算机的方法,包括:在所述子区间分配所述目标对象的所述选定区域 (501,502,503,504)。

9. 根据权利要求 8 所述的基于计算机的方法,其中,在所述子区间分配所述目标对象的所述区域 (501,502,503,504),使得每个子区均包括相等数量的区域。

10. 根据权利要求 8 或 9 所述的基于计算机的方法,包括:在所述子区间再分配所述目标对象的所述区域 (501,502,503,504)。

11. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的基于计算机的方法,包括:迭代地重新估计 (710) 所述中间对象函数,从而随着每次迭代改进所述组合对象函数的运行估计的精度。

12. 根据权利要求 11 所述的基于计算机的方法,其中,所述中间对象函数的所述重新

估计 (710) 基于来自先前迭代的所述组合对象函数。

13. 根据权利要求 11 所述的基于计算机的方法, 包括: 当预定事件发生时, 终止 (712) 迭代处理。

14. 根据权利要求 13 所述的基于计算机的方法, 其中, 所述预定事件包括迭代的次数满足预定条件。

15. 根据权利要求 13 所述的基于计算机的方法, 其中, 所述预定事件包括误差平方和满足预定条件。

16. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的基于计算机的方法, 包括: 确定 (704, 709) 每个所述子区的加权因子, 其中, 根据所述子区的对应的加权因子来组合多个所述中间对象函数。

17. 根据权利要求 7 所述的基于计算机的方法, 包括: 确定所述目标对象的每个选定区域的加权因子。

18. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的基于计算机的方法, 包括: 确定所述目标对象的每个选定区域的加权因子。

19. 根据权利要求 17 所述的基于计算机的方法, 其中, 每个选定区域的加权因子基于该区域的探针函数的相对振幅。

20. 根据权利要求 17 所述的基于计算机的方法, 其中, 每个子区的加权因子基于分配给每个子区的所述选定区域的加权因子。

21. 根据权利要求 20 所述的基于计算机的方法, 其中, 在将选定区域再分配至子区中的一个之后, 重新确定 (709) 该子区的加权因子。

22. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的基于计算机的方法, 包括: 根据以下公式, 更新用于第 $j+1$ 步的每个中间对象函数:

$$\tilde{O}_{g,m,j+1}(r) = \tilde{O}_{g,m,j}(r) + w(r-R) \left(\frac{P^*(r-R)}{|P(r-R)|^2 + \delta} \Psi_{c,j}(r, R) - \frac{|P(r-R)|^2}{|P(r-R)|^2 + \delta} \tilde{O}_{g,m,j}(r) \right)$$

其中, $\tilde{O}_{g,m,j}(r)$ 是用于第 j 步的中间对象函数, $j \in 1, \dots, \frac{n}{m} - 1$, 其中, n 是选定区域的数量, m 是子区的数量, $w(r-R)$ 是用于选定区域 j 的加权函数, $P(r-R)$ 是位置 R 处的探针函数, $P^*(r-R)$ 是所述探针函数 $P(r-R)$ 的共轭, $\Psi_{c,j}(r, R)$ 是用于区域 j 的出射波函数处的经校正的猜测, 以及 δ 是可选参数。

23. 根据权利要求 22 所述的基于计算机的方法, 其中, $\tilde{O}_{g,m,j}(r)$ 对应于先前的组合对象函数 $O_{g,i}$ 。

24. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的基于计算机的方法, 其中, 根据以下等式, 对于第 $i+1$ 次迭代组合中间对象函数:

$$O_{g,i+1} = O_{g,i} + \frac{W_i(r)}{\max(W_i(r))} \left(\sum_{k=1, \dots, m} w_S(r, S_k) \tilde{O}_{g,k,n/m}(r) - O_{g,i} \right)$$

其中, $O_{g,i}$ 是用于第 i 次迭代的组合对象函数, m 是子区的数量, $w_S(r, S_k)$ 是子区 S_k 的

加权因子, $\tilde{O}_{g,k,n/m}$ 是针对 n/m 步的用于第 k 个子区的中间对象函数猜测, $\max(W_t(r))$ 是遍及 r 的 $W_t(r)$ 的最大值。

25. 一种在没有相对于目标对象 (31) 以高分辨率定位入射辐射或目标对象后的孔径的情况下提供所述目标对象的区的图像数据的方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

在所述目标对象 (31) 处提供来自辐射源的入射辐射 (30);

通过相对于所述目标对象重新定位入射辐射或孔径来选择所述目标对象的多个区域;

经由至少一个检测器 (32), 检测由所述目标对象 (31) 散射的辐射的强度;

响应于检测到的所述强度, 估计 (706) 分别表示所述目标对象的所述区的第一子区 (501, 503) 的至少一个特征和第二子区 (502, 504) 的至少一个特征的第一中间对象函数和第二中间对象函数; 以及

组合 (707) 所述第一中间对象函数和所述第二中间对象函数, 以形成表示所述目标对象 (31) 的所述区的至少一个特征的组合对象函数,

其中, 估计每个中间对象函数包括:

将所述对象函数与表示所述目标对象处入射辐射的至少一个特征的探针函数相乘;

响应于所述相乘的结果提供出射波函数;

传播所述出射波函数, 以提供预期散射图样的估计;

根据检测到的强度校正所述预期散射图样的至少一个特征。

26. 根据权利要求 25 所述的方法, 其中, 至少部分地并行估计所述第一中间对象函数和所述第二中间对象函数。

27. 根据权利要求 25 所述的方法, 包括: 将每个中间对象函数的估计分配给对应的计算单元 (601, 602, 603)。

28. 根据权利要求 25 所述的方法, 包括: 在计算单元 (601, 602, 603) 之间传递至少一个中间对象函数, 以与至少一个其他中间对象函数组合。

29. 根据权利要求 25 至 28 中任一项所述的方法, 包括: 估计 (706) 另外的中间对象函数, 每一个所述另外的中间对象函数均与所述目标对象的另外的子区相关, 其中, 所述另外的中间对象函数与所述第一中间对象函数和所述第二中间对象函数组合以形成所述组合对象函数。

30. 根据权利要求 29 所述的方法, 其中, 中间对象函数的数量是预定的。

31. 根据权利要求 25 至 28 中任一项所述的方法, 其中, 所述目标对象的所述区的每个子区均包括与所述目标对象的多个选定区域 (501, 502, 503, 504) 相关的信息。

32. 根据权利要求 31 所述的方法, 包括: 在所述子区间分配所述目标对象的所述选定区域 (501, 502, 503, 504)。

33. 根据权利要求 32 所述的方法, 其中, 在所述子区间分配所述目标对象的所述区域, 使得每个子区均包括相等数量的区域。

34. 根据权利要求 32 或 33 所述的方法, 包括: 在所述子区间再分配 (708) 所述目标对象的所述区域 (501, 502, 503, 504)。

35. 根据权利要求 25 至 28 中任一项所述的方法, 包括: 迭代地重新估计 (710) 所述中

间对象函数,从而随着每次迭代改进所述组合对象函数的运行估计的精度。

36. 根据权利要求 35 所述的方法,其中,所述中间对象函数的所述重新估计 (710) 基于来自先前迭代的所述组合对象函数。

37. 根据权利要求 35 所述的方法,包括:当预定事件发生时,终止 (712) 迭代处理。

38. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述预定事件包括迭代的次数满足预定条件。

39. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述预定事件包括误差平方和满足预定条件。

40. 根据权利要求 25 至 28 中任一项所述的方法,包括:确定 (704) 每个所述子区的加权因子,其中,根据所述子区的对应的加权因子来组合多个所述中间对象函数。

41. 根据权利要求 31 所述的方法,包括:确定所述目标对象的每个选定区域的加权因子。

42. 根据权利要求 32 至 33 中任一项所述的方法,包括:确定所述目标对象的每个选定区域的加权因子。

43. 根据权利要求 41 所述的方法,其中,每个选定区域的加权因子基于该区域的探针函数的相对振幅。

44. 根据权利要求 41 所述的方法,其中,每个子区的加权因子基于分配给每个子区的所述选定区域的加权因子。

45. 根据权利要求 44 所述的方法,其中,在将选定区域再分配至子区中的一个之后,重新确定该子区的加权因子。

46. 根据权利要求 25 至 28 中任一项所述的方法,包括:根据以下公式,更新用于第 $j+1$ 步的每个中间对象函数:

$$\tilde{O}_{g,m,j+1}(r) = \tilde{O}_{g,m,j}(r) + w(r-R) \left(\frac{P^*(r-R)}{|P(r-R)|^2 + \delta} \Psi_{c,j}(r, R) - \frac{|P(r-R)|^2}{|P(r-R)|^2 + \delta} \tilde{O}_{g,m,j}(r) \right)$$

其中, $\tilde{O}_{g,m,j}(r)$ 是用于第 j 步的中间对象函数, $j \in 1, \dots, \frac{n}{m} - 1$, 其中, n 是选定区域的数量, m 是子区的数量, $w(r-R)$ 是用于选定区域 j 的加权函数, $P(r-R)$ 是位置 R 处的探针函数, $P^*(r-R)$ 是所述探针函数 $P(r-R)$ 的共轭, $\Psi_{c,j}(r, R)$ 是用于区域 j 的出射波函数处的经校正的猜测,以及 δ 是可选参数。

47. 根据权利要求 46 所述的方法,其中, $\tilde{O}_{g,m,j}(r)$ 对应于先前的组合对象函数 $O_{g,i}$ 。

48. 根据权利要求 25 至 28 中任一项所述的方法,其中,根据以下等式,对于第 $i+1$ 次迭代组合中间对象函数:

$$O_{g,i+1} = O_{g,i} + \frac{W_t(r)}{\max(W_t(r))} \left(\sum_{k=1, \dots, m} w_s(r, S_k) \tilde{O}_{g,k,n/m}(r) - O_{g,i} \right)$$

其中, $O_{g,i}$ 是用于第 i 次迭代的组合对象函数, m 是子区的数量, $w_s(r, S_k)$ 是子区 S_k 的加权因子, $\tilde{O}_{g,k,n/m}$ 是针对 n/m 步的用于第 k 个子区的中间对象函数猜测, $\max(W_t(r))$ 是遍及 r 的 $W_t(r)$ 的最大值。

49. 一种用于提供与目标对象的区相关的图像数据的设备,其特征在于:

第一计算单元 (602), 被配置为估计表示所述目标对象的所述区的第一子区的至少一个特征的第一中间对象函数;

第二计算单元 (603), 被配置为估计表示所述目标对象的所述区的第二子区的至少一个特征的第二中间对象函数;

其中, 计算单元 (601) 被配置为组合所述第一中间对象函数和所述第二中间对象函数, 以形成表示所述目标对象的所述区的至少一个特征的组合对象函数,

其中, 估计每个中间对象函数包括:

将所述对象函数与表示所述目标对象处入射辐射的至少一个特征的探针函数相乘;

响应于所述相乘的结果提供出射波函数;

传播所述出射波函数, 以提供预期散射图样的估计;

根据检测到的强度校正所述预期散射图样的至少一个特征。

50. 根据权利要求 49 所述的设备, 其中, 所述第一计算单元 (602) 和所述第二计算单元 (603) 是单独的处理器。

51. 根据权利要求 49 所述的设备, 其中, 所述第一计算单元和所述第二计算单元是一个或多个多核处理器的核。

52. 根据权利要求 49 所述的设备, 其中, 所述目标对象的每个子区均包括与所述目标对象的多个选定区域相关的信息。

53. 根据权利要求 49 至 51 中任一项所述的设备, 其中, 计算单元之间的通信是通过通信总线或网络、或者其组合进行的。

54. 根据权利要求 49 所述的设备, 其中, 所述第一计算单元和所述第二计算单元被配置为至少部分地并行估计所述中间对象函数。

55. 根据权利要求 49 至 51 中任一项所述的设备, 其中, 一个或多个计算单元被配置为将至少一个中间对象函数传递至被配置为组合所述中间对象函数的计算单元。

56. 根据权利要求 49 至 51 中任一项所述的设备, 包括: 通过相对于所述目标对象重新定位入射辐射或孔径来选择所述目标对象的区域的装置, 其中, 所述目标对象的所述区的每个子区均包括与所述目标对象的一个或多个选定区域相关的信息。

57. 根据权利要求 56 所述的设备, 其中, 计算单元中的一个被配置为在所述子区间分配所述目标对象的所述选定区域。

58. 根据权利要求 57 所述的设备, 其中, 在所述子区间分配所述目标对象的所述区域, 使得每个子区均包括相等数量的区域。

59. 根据权利要求 49 至 51 中任一项所述的设备, 其中, 计算单元被配置为迭代地重新估计所述中间对象函数, 从而随着每次迭代改进所述组合对象函数的运行估计的精度。

60. 根据权利要求 59 所述的设备, 其中, 所述中间对象函数的所述重新估计基于来自先前迭代的所述组合对象函数。

61. 根据权利要求 49 至 51 中任一项所述的设备, 其中, 每个计算单元均被配置为确定每个子区的加权因子, 并且所述计算单元被配置为根据所述子区的对应的加权因子组合多个所述中间对象函数。

62. 根据权利要求 49 至 51 中任一项所述的设备, 其中, 一个或多个计算单元被配置为将至少一个中间对象函数传递至被配置为组合所述中间对象函数的计算单元。

63. 一种用于提供图像数据的设备,其中,所述图像数据用于生成目标对象(31)的区的图像,所述设备特征在于:

定位装置,用于将目标对象(31)定位于预定位置;

辐射源,用于在通过所述定位装置定位的所述目标对象(31)处提供入射辐射(30);

至少一个检测器器件(32),用于检测由所述目标对象散射的辐射的强度;

辐射定位装置(34),用于在相对于所述目标对象(31)的一个或多个位置处定位位于目标对象后侧的孔径或者入射辐射;

第一处理装置(602),用于响应于检测到的、来自包括由所述辐射定位装置选择的一个或多个区域的所述目标对象的子区的散射辐射的强度来确定第一中间对象函数;以及

第二处理装置(603),用于响应于检测到的、来自包括由所述辐射定位装置选择的一个或多个区域的所述目标对象的子区的散射辐射的强度来确定第二中间对象函数;

其中,所述第一处理装置(602)或所述第二处理装置(603)之一或者第三处理装置被配置为组合所述第一中间对象函数和所述第二中间对象函数,以形成表示所述目标对象的所述区的至少一个特征的组合对象函数,

其中,估计每个中间对象函数包括:

将所述对象函数与表示所述目标对象处入射辐射的至少一个特征的探针函数相乘;

响应于所述相乘的结果提供出射波函数;

传播所述出射波函数,以提供预期散射图样的估计;

根据检测到的强度校正所述预期散射图样的至少一个特征。

64. 根据权利要求63所述的设备,其中,处理装置(601,602,603)是单独的处理器。

65. 根据权利要求63所述的设备,其中,处理装置(601,602,603)是一个或多个多核处理器的核。

66. 根据权利要求63所述的设备,其中,所述目标对象的每个子区均包括与所述目标对象的多个选定区域相关的信息。

67. 根据权利要求63、64或65所述的设备,其中,处理装置(601,602,603)之间的通信是通过通信总线或网络、或者其组合进行的。

68. 根据权利要求63所述的设备,其中,所述第一处理装置(602)和所述第二处理装置(603)被配置为至少部分地并行估计所述中间对象函数。

69. 根据权利要求63至65中任一项所述的设备,其中,所述辐射定位装置被配置为选择所述目标对象的区域,并且所述目标对象的所述区的每个子区均包括与所述目标对象的一个或多个选定区域相关的信息。

70. 根据权利要求69所述的设备,其中,处理装置中的一个被配置为在所述子区间分配所述目标对象的所述选定区域。

71. 根据权利要求63至65中任一项所述的设备,其中,处理装置被配置为迭代地重新估计所述中间对象函数,从而随着每次迭代改进所述组合对象函数的运行估计的精度。

72. 根据权利要求71所述的设备,其中,所述中间对象函数的所述重新估计基于来自先前迭代的所述组合对象函数。

提供目标对象区域图像数据的方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及用于提供可以从中生成目标对象图像的图像数据的经改进的方法和装置。

背景技术

[0002] W02005/106531 (其内容结合于此作为参考)公开了一种用于产生目标对象的区域的高分辨率图像的方法和装置。在所公开的装置和方法中,入射辐射落在目标对象上并在其穿过和越过目标对象时被散射,使得入射辐射的波函数相对于对象前目标侧处的入射辐射的波函数在振幅和相位这两方面都被修改。诸如 CCD 检测器的检测器阵列被配置为与目标对象相距适当的距离,并且衍射图样通过传播至衍射面而形成。在一个实施方式中,孔径定位在对象之后,以选择目标对象的区域用于研究。在另一实施方式中,弱调焦透镜被用于照明对象的区域。

[0003] 使用所形成的衍射图样作为由检测器阵列测量的输入数据以及使用知晓的、通过孔径或弱调焦透镜形成的探针函数,一种算法被用于按照二维复值函数的形式来确定用于目标对象的对象函数。在 W02005/106531 中具体参照该文献的图 7 解释了此算法。应该理解,该算法需要重复迭代,直到发生预定事件。例如,该迭代可以重复 1000 次,或者直到误差平方和 (SSE) 足够小。算法的重复意味着相当大的处理需求,即使在相对快速的处理器上也要耗费可观的处理时间。例如,使用具有英特尔“Core22GHz”中央处理单元 (CPU) 的 PC 的测试示出了该方法的单次迭代对于 641000×1000 像素衍射图样的集合耗费 85 秒。典型地,可能需要该方法的 10 次迭代 (其耗费大约 14 分钟) 来产生高分辨率图像。期望克服或至少缓解该问题。

发明内容

[0004] 本发明实施方式的一个目的在于允许在较短的时段内产生图像数据,从中可以任选地产生包括高分辨率图像的图像。

[0005] 本发明实施方式的一个目的在于提供用于在相对较短的时段内生成波长受限图像数据的方法和装置。

[0006] 根据本发明的第一方面,提供了一种用于提供目标对象的区域的图像数据的、基于计算机的方法,包括以下步骤:估计表示目标对象的该区域的第一子区域的至少一个特征的第一中间对象函数;估计表示目标对象的该区域的第二子区域的至少一个特征的第二中间对象函数;以及组合第一中间对象函数和第二中间对象函数,以形成表示目标对象的该区域的至少一个特征的组合对象函数。

[0007] 根据本发明的第二方面,提供了一种在没有相对于目标对象以高分辨率定位目标对象后侧的孔径或入射辐射的情况下,提供目标对象的区域的图像数据的方法,包括以下步骤:在目标对象处提供来自辐射源的入射辐射;经由至少一个检测器,检测由该目标对象散射的辐射强度;响应于检测到的强度,估计分别表示目标对象的该区域的第一子区域

的至少一个特征的第一中间对象函数以及第二子区域的至少一个特征的第二中间对象函数；以及组合第一对象函数和第二对象函数，以形成表示目标对象的区域的至少一个特征的组合对象函数。

[0008] 根据本发明的第三方面，提供了一种用于提供关于目标对象的区域的图像数据的装置，包括：第一计算单元，被配置为估计表示目标对象的该区域的第一子区域的至少一个特征的第一中间对象函数；以及第二计算单元，用于估计表示目标对象的该区域的第二子区域的至少一个特征的第二中间对象函数；其中，计算单元，被配置为组合第一对象函数和第二对象函数，以形成表示目标对象的区域的至少一个特征的组合对象函数。

[0009] 根据本发明的第四方面，提供了一种用于提供图像数据的设备，该图像数据用于生成目标对象的区域的图像，该设备包括：定位装置，用于将目标对象定位于预定位置；辐射源，用于在通过该定位装置定位的目标对象处提供入射辐射；至少一个检测器装置，用于检测由该目标对象散射的辐射强度；辐射定位装置，用于在相对于该目标对象的一个或多个位置处定位位于目标对象后侧的入射辐射或者孔径；第一处理装置，用于响应于检测到的来自目标对象的子区域的散射的辐射强度来确定第一中间对象函数，该目标对象的子区域包括由辐射定位装置选择的一个或多个区域；以及第二处理装置，用于响应于检测到的来自目标对象的子区域的散射的辐射强度来确定第二中间对象函数，该目标对象的子区域包括由辐射定位装置选择的一个或多个区域；其中，第一或第二处理装置中的一个或者第三处理装置被配置为组合第一对象函数和第二对象函数，以形成表示目标对象的区域的至少一个特征的组合对象函数。

[0010] 本发明的实施方式通过采用并行处理减少了计算对象函数的时间。两个以上计算单元均用于计算中间对象函数。在计算中间对象函数之后，计算单元将中间对象函数进行组合以形成对象函数的估计来用于迭代。在随后的迭代中，两个以上处理单元利用对象函数的先前估计来再次形成中间对象函数，随后该中间对象函数由计算单元进行组合以形成对象函数的随后迭代的估计。以这种方式，利用对于中间对象函数的并行处理。然而，通过中间对象函数估计的频繁组合，不会发生针对各个区域估计的对象函数之间的不一致，或者至少使这种不一致最小化。

附图说明

[0011] 现在将参照附图，仅通过示例方式来描述本发明的实施方式，其中：

[0012] 图 1 示出了现有技术已知的移动孔径配置；

[0013] 图 2 示出了现有技术已知的移动后对象孔径的示意图；

[0014] 图 3 示出了现有技术的相位恢复算法；

[0015] 图 4 示出了根据本发明的方法的第一实施方式的示意图；

[0016] 图 5 示意性示出了四个孔径位置；

[0017] 图 6 示意性示出了本发明实施方式的计算单元的配置；以及

[0018] 图 7 示出了根据本发明的方法的第二实施方式的示意图。

[0019] 在附图中，相同的参考标号指代相同的部分。

具体实施方式

[0020] 在讨论本发明的实施方式之前,将提供对 W02005/106531(其全部内容结合于此作为参考)所公开的现有技术的装置、方法和算法的简要介绍。所讨论的现有技术的实施方式是在 W02005/106531 中公开的移动孔径配置。然而,应该意识到,还已知移动弱调焦透镜的现有技术的方法,并且本发明的实施方式还可以用于与这种弱调焦透镜的配置相结合。此外,本发明的实施方式还可以使用目标前的孔径来照明对象的区域。

[0021] 参照图 1,示出了现有技术的配置,其中,使入射辐射 30 落在目标对象 31 上。

[0022] 应该理解,术语目标对象是指放置在入射辐射的路径中的、引起该辐射的散射的任何样品或物品。应该理解,目标对象对于入射辐射应该是至少部分透明的。目标对象可以具有或者不具有一些重复结构。

[0023] 应该理解,术语辐射被广义地理解为来自辐射源的能量。这将包括电磁辐射(包括 X 射线)、诸如电子和 / 或声波的发射粒子。这种辐射可以通过波函数 $\Psi(r)$ 来表示。该波函数包括本领域技术人员所理解的实部和虚部。这可以通过波函数模数和相位来表示。 $\Psi(r)^*$ 是 $\Psi(r)$ 与 $\Psi(r)$ 的复共轭, $\Psi(r)^* = |\Psi(r)|^2$, 其中, $|\Psi(r)|^2$ 是可以针对波函数测量的强度。

[0024] 入射辐射 30 在其穿过和越过目标对象 31 时被散射。因为,当入射辐射离开目标对象 31 时其波函数将相对于目标对象 31 的目标侧之前处的入射辐射的波函数在振幅和相位两方面均被修改。所发生的散射可以包括傅里叶衍射、折射和 / 或菲涅耳衍射以及任何其他形式的散射,其中,入射辐射的特征由于在目标对象 31 之后传播而被修改。如果诸如 CCD 检测器 32 的检测器阵列被配置为距离目标对象 31 较长距离,则在衍射面 33 处形成衍射图样。如果检测器 32 被定位为与目标对象 31 相距距离 D,则将形成傅里叶衍射图样,其中, D 对于从点源中有效形成的衍射图样来说足够长。如果通过将检测器定位得较近而使衍射面被形成更接近目标对象 31,则将形成菲涅耳衍射图样。孔径 34 被定位在目标对象的后方,从而选择目标的区域用于研究。在蔽光框中形成孔径,使得孔径定义了“支持(support)”。支持是函数不为零的函数区域。换句话说,在该支持的外部,函数为零。在该支持的外部,蔽光框阻挡辐射的透射。用于本发明的孔径不必是有限制的及被严格定义的。它们可以是可移动的并且在其边缘处缓慢变化。以这种方式,平稳变化的照射函数或透射率不是由高空间频率组成。换句话说,其是带宽受限函数。由于没有使用透镜,因此可以通过检测器 32 来测量较大的视场。术语孔径描述了辐射的局部透射函数。这可以通过具有 0 和 1 之间的模数值的二维复值变量来表示。一个实例是具有变化透射率的物理孔径区域的蔽光框。

[0025] 图 2 示意性示出了通过图 1 的配置的波的传播。入射辐射 30 落在目标对象 31 的上游侧,并在其透射时被目标对象 31 散射。目标对象波 $O(r)$ 是与目标对象 31 相互作用之后的辐射的出射波函数。以这种方式, $O(r)$ 表示二维复值函数,使得 $O(r)$ (其中, r 是二维坐标)中的每个点均与其复数相关联。 $O(r)$ 将物理地表示会从平面波所照射的目标对象 31 发射的出射波。例如,在电子散射的情况下, $O(r)$ 将表示作为穿过感兴趣的目标对象 31 的结果而引入到入射波的相位和振幅变化。孔径 34 提供了探针函数 $P(r)$ (或滤波函数),其选择对象出射波函数的一部分用于分析。应该理解,除选择孔径之外,可以在对象功能元件的下游定位透射光栅或其他这种滤波功能元件。探针函数 $P(r-R)$ 是孔径在位置 R 处的孔径透射函数。探针函数可以表示为具有由以下的模数和相位给出的复数值的复值函数,其

中,该模数和相位表示由对于入射到其上的理想平面波的探测所引入的模数和相位变化。

[0026] 出射波函数 $\Psi(r, R)$ 43 是该辐射在离开孔径 34 时的出射波函数。该出射波 $\Psi(r, R)$ 43 在衍射面 33 处形成衍射图样 $\Psi(k, R)$ 44。这里, r 是实空间中的向量坐标, k 是衍射空间中的向量坐标。

[0027] 图 3 示出了现有技术的算法,用于获得对象的波函数并由此用于获得随后可用来生成对象的高分辨率图像的图像数据。图 3 示出了使用图 1 和图 2 所示配置的方法,并且在测量衍射图样之后将孔径从第一位置移动到可以测量第二对应衍射图样的第二位置。

[0028] 注意,上述 $O(r)$ 和 $P(r)$ 表示二维复值函数,即, $O(r)$ 和 $P(r)$ (其中, r 是二维坐标)中的每个点均将其与预期复数相关联。在下文中, $O(r)$ 将物理地表示会从平面波照射的对象功能元件发射的出射波。例如,在电子散射的情况下, $O(r)$ 将表示作为穿过感兴趣对象的结果的入射波的相位和振幅变化。

[0029] 在下文中, $P(r)$ 表示照射函数(诸如通过由透镜或其他光学部件形成的焦散或照射轮廓所生成的函数)或滤波函数(诸如对象功能元件下游安装的孔径或透射光栅)。

[0030] 在下文中,可以假设 $O(r)$ 或 $P(r)$ 彼此相对移动各种距离 R 。根据移动 $P(r)$ 书写所采用的命名法,但也可以等效地改为相对于 $P(r)$ 移动 $O(r)$ 。在这两种情况下,通过形成 $O(r)$ 与 $P(r-R)$ 的乘积来改变 $O(r)$ 的复值以给出 $\Psi(r)$ 的总出射波函数,即, $\Psi(r, R) = O(r)P(r-R)$ (1)

[0031] 执行该算法以找到复数函数 $\Psi(r, R)$ 的相位和强度。其要求输入已知的函数 $P(r-R)$, 以及在与包含目标对象 31 的平面不同的平面中的波函数的强度的一个或多个(优选为数个)测量值。使用与通过傅里叶变换得到的样本平面相关的衍射平面是便利的。在这种情况下,测量到的输入数据是一个或多个探针/孔径位置处衍射图样的强度。然而,还可以基于与样本/孔径的出射面相距一些距离处的一组散焦图像来执行算法。在这种情况下,自由空间传播函数(propagator,传播子)替换傅里叶变换。该算法并不限于使用这两种变换。其他有效变换也可以用于从信息的一个平面移动到另一个。在下文中,一般的变换 T 是指将波函数从第一平面(称为平面 1)变换到第二平面(称为平面 2)。

[0032] 算法如下进行操作并参照图 3:

[0033] 1. 在步骤 S700 中开始对于对象函数 $O_{g,n}(r)$ 的猜测,其中,下标 g, n 表示算法第 n 次迭代的所猜测的波。这些函数在平面 1 (如果使用傅里叶变换,则其为实空间平面)中。 $O_{g,n}(r)$ 的第一猜测可以在所有点 r 处均等一致。这对应于缺少样本。可替换地, $O_{g,n}(r)$ 可以在每个点处设置为随机值。

[0034] 2. 在步骤 S701 中根据位置和特征选择已知的孔径。这提供了探针函数 $P(r-R)$ 。在步骤 S702 中,对象函数处的当前猜测与当前位置 R 处的孔径或探针 $P(r-R)$ 相乘。其针对位置 R 产生猜测的出射波函数(仍然在平面 1 中), $\Psi_{g,n}(r, R) = O_{g,n}(r)P(r-R)$ (2)

[0035] 3. 接下来,在步骤 S703 中,变换 $\Psi_{g,n}(r, R)$ 以针对该位置 R 获得平面 2 (如果使用傅里叶变换,则可以为衍射空间平面)中的对应波函数。这里, T 用于表示一些普通的变换(通常可以为傅里叶变换,还可以为菲涅耳自由空间传播函数)或者适合于该算法的特定应用的一些其他变换。 $\Psi_{g,n}(k, R) = T[\Psi_{g,n}(r, R)]$ (3)

[0036] k 是平面 2 中的坐标。(对于傅里叶变换, k 可以为通常的倒易空间坐标。对于传播函数, k 可以为散焦平面中的 xy 坐标。)需要特别注意的是, $\Psi_{g,n}(k, R)$ 是平面 2 中的实

际波函数的“猜测”版本,原因在于其是由猜测的对象函数 $O_{g,n}(r)$ 来生成。该算法的连续迭代将愈加产生 $\Psi_{g,n}(k, R)$ 的精确版本。

[0037] 注意,可以按照以下形式书写 $\Psi_{g,n}(k, R)$:

$$[0038] \quad \Psi_{g,n}(k, R) = |\Psi_{g,n}(k, R)| e^{i\theta_{g,n}(k, R)} \quad (4)$$

[0039] 其中, $|\Psi_{g,n}(k, R)|$ 是(猜测的)波函数振幅,以及 $\theta_{g,n}(k, R)$ 是针对位置 R 的迭代 n 次的平面 2 中的(猜测)相位。

[0040] 通过已知技术(诸如检测器阵列 32)测量衍射图样的强度,知晓有关实际变换的出射波函数的信息。由此,衍射图样(其中,孔径处于第一位置)的测量强度形成衍射图样的复波函数的估计的基础。然而,测量到的强度未提供关于波函数的相位的信息。相反地,测量到的强度可以与 $|\Psi(r)|^2$ 的平方模数相比较。其为 $|\Psi(r)|^2$ 。一旦在步骤 S704 中已知平面 2 中衍射图样中辐射的强度,则可以执行以下步骤。

$$[0041] \quad 4. \text{ 在步骤 S705 中,将猜测的平面 2 波函数的强度校正为已知值。} \Psi_{c,n}(k, R) = |\Psi(k, R)| e^{i\theta_{g,n}(k, R)} \quad (5)$$

[0042] 其中, $|\Psi(k, R)|$ 是已知的平面 2 模数。这是图像平面处测量强度的平方根。

[0043] 5. 在 S706 中逆变换返回至实空间,以在出射波函数(在平面 1)处获得新的且改进的猜测(T^{-1} 表示先前所使用的变换 T 的逆变换),

$$[0044] \quad \Psi_{c,n}(r, R) = T^{-1}[\Psi_{c,n}(k, R)] \quad (6)$$

[0045] 6. 经由步骤 S707,使用更新函数来更新被孔径或探针覆盖的区域中的所猜测的对象波函数:

$$[0046] \quad O_{g,n+1}(r) = O_{g,n}(r) + \frac{|P(r-R)| |1P^*(r-R)| \beta (|\Psi_{c,n}(r, R) - \Psi_{g,n}(r, R)| |P_{\max}(r-R)|)}{1(|P(r-R)|^2 + \delta)} \quad (7)$$

[0047] 其中,参数 β δ 和 1 被适当选择,并且 $|P_{\max}(r-R)|$ 是 $P(r)$ 的振幅的最大值。结果是针对对象函数的新猜测 (5708)。

[0048] 更新函数有助于进行可能发生的有效去卷积,并引入使对象函数被最大程度(其中,探针函数具有最大振幅)更新的加权因子。可选择的常数 1 可以被设置为 1。其可以选择为 0 至 3 范围内的任何值,并且不必是整数值。当存在许多噪声时,设置 $1 > 1$ 是有用的。当由于散射几何条件,检测强度为 Gabor 全息图或类似的形式时,1 可以被选择为 $1 < 1$ 。值 δ 用于防止如果 $|P(r-R)|=0$ 时发生被零除。 δ 是通常应用于维纳滤波器的小实数,并且通常(尽管不是必须的)小于 $P_{\max}$,并且如果在所记录数据中存在的噪声较小,则 δ 可以相当小。常数 β 控制算法中的反馈量,并且有利地可以在大概 0.1 至 1 之间进行变化。当 β 小于 0.5 时,对象的先前估计被认为比新估计更加重要。之间的值改变两个估计的相对重要性。 β 确定如何快速地到达解。

[0049] δ 是可以被设置为固定值的参数,或者其可以进行变化。其表示所记录的数据有多大噪声,并用于对响应于这些环境如何执行更新来进行削弱。如果对于数据收集存在良好条件(也就是说具有高射束流(高通量),其意味着低散粒噪声),则使用所收集的结果来更新猜测的估计是较为安全的。从而, δ 的值可以为 $P_{\max}$ 的小分数(例如,小于 $1/10$)。

[0050] 表达式:

$$\frac{|P(r-R)|^\ell}{|P_{\max}(r-R)|^\ell} \quad (8)$$

[0052] 使 $|P(r-R)|$ 在其中较大的区域的更新效果最大化。这是有益的,原因在于其是接收入射辐射的最大量的那些区域,因此,包含具有相对较高信噪比的信息。该信息明显比来自入射非常小的辐射且被噪声严重影响的区域的信息更有价值。

[0053] 对于 $\beta=1, l=0$ 且 $\delta=0$, 以及函数 $P(r-R)$ 是可以通过其值一致而其他地方为零的区域或者支持函数表示的蔽光框的情况,则算法与已知 Fienup 算法具有一些类似性。如果在这种情况下仅使用一个位置 R , 则该算法简化为数学地与基本 Fienup 算法相同。在使用多于一个位置 R 的情况下,该算法与已知方法相比具有显著的优势,包括其不经受唯一性问题的事实,并且可以成像更宽的视场。

[0054] 随后更新猜测的运行估计,图 7 所示的算法进行到选择新位置 R , 该位置至少部分地与先前位置重叠。重叠应该优选为大于 20%, 并且优选为 50% 以上。这可以通过在图 1 所示箭头 A 的方向上将孔径移动预定量或者通过使照射辐射落在目标的不同区域上来实现。应该理解,可以提供用于目标对象的一个位置的图像数据,而对孔径或入射辐射的位置没有任何改变。在这种实施方式中,在步骤 S708 之后,算法返回到步骤 S702。代替载入对象函数 $O(r)$ 的初始估计,载入步骤 S708 的用于 $O(r)$ 的新猜测。在每次迭代,用于对象函数的新猜测都将由于已知强度的每个迭代信息而更加接近实际对象函数,由此,添加入射辐射的已知振幅分量以提高估计的精度。

[0055] 然而,更加优选的方法为移动到新位置 R , 该位置部分地与图 3 所示的先前位置重叠。

[0056] 在步骤 S709 中识别第二位置处已知的探针函数 $P(r-R_2)$, 然后重复上面提到的步骤,使得在步骤 S708 中生成的新猜测与在步骤 S709 中识别的新的已知探针函数相乘。这在步骤 S710 中示出。有效地,其根据所关注的实施方式生成了样本后或孔径后的出射波函数。所得到的出射波函数在步骤 S711 中传播,以提供对于应该在该位置处检测到的散射图样的估计。在步骤 S712 中测量衍射图样,这提供强度信息,并由此提供关于经变换的波函数的振幅信息。强度信息用于校正经变换的波函数的振幅,而在步骤 S713 中保持相位信息。该校正的波函数经由傅里叶变换(当图像形成在远场中时)、菲涅耳变换(当图像形成在菲涅耳衍射占优势的位置处时)或者通过任何其他适当的变换被逆向传播。这在步骤 S714 中示出。然后,在步骤 S715 中根据上面示出的更新函数校正 $O(r)$ 的运行估计,并且结果是在步骤 S716 中示出的用于对象函数的新猜测。

[0057] 在该阶段,可以将照射或孔径进一步移动至第三或其他位置。再次,在先前照射的位置之间发生一些重叠的位置是优选的。以这种方式,整个目标对象可以被任选地映射。可替换地,在步骤 S716 中生成的新猜测可以被重复,而没有进一步定位知晓已知的衍射图样结果。在图 3 中,迭代方法被示为通过返回到步骤 S702 进行重复,在该步骤中,步骤 S716 中生成的新猜测而非在步骤 S700 中所提供对象函数的初始估计被输入至乘法阶段。

[0058] 可以重复迭代方法,直到发生预定事件。例如,迭代可以重复预定的次数(例如,1000 次)或者直到误差平方和(SSE)足够小。在平面 2 中测量 SSE 为

$$[0059] \quad \text{SSE} = \frac{(|\psi_{g,n}(k,R)|^2 - |\psi(k,R)|^2)^2}{N} \quad (9)$$

[0060] 其中, N 表示波函数的阵列中的像素的数量。

[0061] 在迭代处理期间, 对象函数的最新猜测提供针对该对象函数的运行估计。当通过预定事件的发生确定迭代处理完成时, 对象函数的运行估计提供处于通过入射辐射照射或者通过目标对象后的孔径的位置所选择的位置处的图像数据。该图像数据包括随后可用于生成目标对象的选定区域的高分辨率图像的振幅和相位信息。

[0062] 然而, 如上所述, 运行上述算法大量的次数(例如, 1000 次)意味着巨大的计算负荷, 其耗费了显著的计算时间。现在将描述能够更快地计算对象函数的方法和算法。

[0063] 根据本发明的算法的实施方式对利用处于 n 个不同的位置 $R_1 \cdots R_n$ (其中, n 为 2 以上)处的孔径形成的衍射图样进行操作。还应意识到, 该算法的实施方式还可以应用于通过入射到目标对象 31 的不同区域上的辐射所形成的衍射图样。如上所述, 每个孔径位置应该至少部分地与先前孔径位置重叠, 优选至少重叠 20% 以上, 或者更优选地至少重叠 50%。

[0064] 如图 4 所示, 该方法开始于步骤 401。

[0065] 在步骤 402 中, n 个孔径位置 $R_1 \cdots R_n$ 被划分或者分配到 m 个区域中 $S_1 \cdots S_m$ 。不需要划分 m 个区域来使得每一个区域均包含相同数量的孔径位置, 尽管这样做将导致最快的总计算时间。在一些实施方式中, m 个区域可以精确地包含每个孔径位置一次, 即, 所有 m 个区域的联合恰为 $R_1 \cdots R_n$ 。

[0066] 将描述一个实施例来示出本发明的实施方式, 其使用被分组至两个区域 S_1 、 S_2 的四个不同的孔径位置 $R_1 \cdots R_4$ 。因此, 在该实施例中, $n=4$ 且 $m=2$ 。图 5 示出了四个孔径 501 至 504 的示意图, 其中, $R_1=501$, $R_2=502$, $R_3=503$ 以及 $R_4=504$ 。应该注意, 四个孔径的形状和配置仅仅是实例, 仅为了说明而示出它们的重叠程度。在步骤 402 中, 四个孔径位置 $R_1 \cdots R_4$ 被划分至两个区域 S_1 、 S_2 , 使得 S_1 包括 R_1 和 R_3 , 而 S_2 包括孔径位置 R_2 和 R_4 。应该注意, 孔径位置被任意分配给区域。例如, S_1 可以包括孔径位置 R_1 和 R_4 , 并且在区域和孔径位置之间不要求诸如位置关系的内部关系。

[0067] 在步骤 403 中, 对于每个孔径位置计算属于不同孔径位置处的探针函数的加权函数 $w_N(r-R)$ 。然后, 计算用于每个区域 $w_S(r, S_m)$ 的加权函数。加权的目的在于最大程度地更新对象函数, 其中, 探针函数具有最大的振幅, 即, 承载更多的信息。

[0068] 更具体地, 如下计算用于所有孔径位置的总权重:

$$[0069] \quad W_i(r) = \sum_{R=R_1 \cdots R_n} w(r-R) \quad (10)$$

[0070] 其中, 存在 n 个不同的孔径位置, 并且 $w(r-R)$ 是用于特定孔径位置 R 的对应的加权因子, 并通过以下公式给出:

$$[0071] \quad w(r-R) = \beta \frac{|P(r-R)|^l}{|P_{\max}(r-R)|^l} \quad (11)$$

[0072] 该加权因子与现有技术中存在的定义和含义相同, 其中, 加权因子不是标量变量, 而是替代地使对象函数被最大程度地更新, 其中, 探针函数具有最大的振幅。加权因子本质

上为通过上述 β 和 1 修正的探针函数的归一化版本。

[0073] 然后,通过以下公式计算处于所有孔径位置处的归一化加权探针函数:

[0074]

$$w_N(r, R) = \begin{cases} \frac{w(r-R)}{W_i(r)} & \text{对于 } W_i(r) \neq 0 \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases} \quad (12)$$

[0075] $w_N(r-R)$ 条件分配的目的在于防止在 $W_i(r)=0$ 的情况下发生被零除。

[0076] 对于 m 个区域中的每一个,通过以下公式来计算加权函数:

$$[0077] \quad w_S(r, S_m) = \sum_{R \in S_m} w_N(r, R) \quad (13)$$

[0078] 其中, S_m 为第 m 个区域。

[0079] 因此,对于该实施例,通过以下公式给出区域 S_1 的加权:

$$[0080] \quad w_S(r, S_1) = w_N(r, R_1) + w_N(r, R_3) \quad (14)$$

$$[0081] \quad \text{而通过以下公式给出区域 } S_2 \text{ 的加权: } w_S(r, S_2) = w_N(r, R_2) + w_N(r, R_4) \quad (15)$$

[0082] 在一些实施方式中,可以预先演绎计算用于计算孔径位置加权函数的等式 10 至 12。即,可以在期望开始算法之前预先确定加权函数,由此来节省计算时间。在第一实施方式中,还可以预先计算等式 13 至 15,原因在于在算法的迭代期间区域中孔径位置的分配不会改变。

[0083] 在步骤 404 中,将针对每个区域的中间对象函数的计算分配给从两个以上计算单元中选择的计算单元。在算法的重复迭代期间,重复地计算对于每个区域的中间对象函数。同时,更加便利地,在整个重复迭代中将中间对象函数的计算分配给特定的计算单元,此算法不限于该方式。即,第一计算单元可以在第一迭代期间计算针对区域 S_1 的中间对象函数,并且可以由第二计算单元执行第二迭代期间针对区域 S_1 的中间对象函数的计算。

[0084] 术语计算单元被理解为能够执行独立计算的单元。例如,单独的处理器可以表示计算单元。然而,多核处理器的核也可以表示计算单元。还可以使用多核处理器中核的组合或者单独的处理器架构。此外,计算单元可以彼此是本地的,即,连接至总线互连,或者可以远程定位并通过诸如网络(例如,LAN 或 WAN 网络)的无线或有线通信介质连接到一起。

[0085] 在一个实施方式中,每个计算单元均计算用于各个区域的中间对象函数。然而,取决于这些计算单元的执行速度,在其他实施方式中一个或多个计算单元可以计算用于多于一个区域的中间对象函数。应该理解,优选地,平衡计算单元之间的计算负荷,使得每个计算单元均被分配与其他计算单元大致相同的时间来完成针对一个或多个区域的中间对象函数的计算。这使得组合地使用具有不同执行速度的计算单元。

[0086] 作为实施例,在图 6 中示出了包括中央计算单元和两个从属计算单元 602、603 的配置。在该实施例中,中央计算单元负责执行图 4 所示方法的步骤 402 至 404,而每个从属计算单元 602、603 并行计算用于上述实施例的每个区域 S_1 、 S_2 的中间对象函数。名称“中央”和“从属”并未暗示从属计算单元 602、603 对中央计算单元 601 的任何功能内部依赖或者计算单元之间的任何性能层级。例如,中央计算单元 601 可以与从属计算单元 602、603 相同。此外,虽然该示例性配置用于相对于两个区域 S_1 、 S_2 来示出(将由对应的从属计算单

元 602、603 计算用于每个区域的中间对象函数并且由中央计算单元 601 使用该中间对象函数以计算针对每个迭代的对象函数或组合对象函数),但应该意识到,中央计算单元 601 可以计算针对一个区域的中间对象函数,然后使用由一个从属计算单元 602 对于另一区域计算的中间对象来计算组合对象函数,因此减少了所要求的从属计算单元的数量。

[0087] 在步骤 405 中,计算单元并行计算针对所有区域的中间对象函数猜测。

[0088] 对于每个区域,应用 W02005/106531 的算法,如参照步骤 700 至 706 所详细解释的,该算法包括:以对象函数猜测和已知探针函数开始并将二者相乘以在第一平面中形成猜测的出射波函数;变换出射波函数以在第二平面中形成出射波函数,然后在可逆地变换函数之前针对第二平面中波函数的测量强度来对其进行校正,以获得第一平面中的出射波函数的改进猜测。对于更多的信息,读者可参照图 3 以及 W02005/106531。

[0089] 对于第 $j+1$ 次迭代, W02005/106531 给出了用于更新对象函数猜测的等式:

[0090]

$$O_{g,j+1}(r) = O_{g,j}(r) + \frac{|P(r-R)|^f P^*(r-R)}{|P_{\max}(r-R)|^f (|P(r-R)|^2 + \delta)} \beta (\psi_{c,j}(r, R) - \psi_{g,j}(r, R)) \quad (16)$$

[0091] 这可以被改写为:

[0092]

$$O_{g,j+1}(r) = O_{g,j}(r) + w(r-R) \left(\frac{P^*(r-R)}{|P(r-R)|^2 + \delta} \psi_{c,j}(r, R) - \frac{|P(r-R)|^2}{|P(r-R)|^2 + \delta} O_{g,j}(r) \right) \quad (17)$$

[0093] 在没有一般性损失的情况下,当存在 n 个孔径位置并且需要进行 i 次迭代时,考虑应用上面改写的等式 17。

[0094] 在本发明的实施方式中,按照与图 3 中所示的针对第 m 区域中的孔径位置的相同方式来计算针对第 m 区域中的孔径位置的 j 步之后的中间对象函数猜测 $\tilde{O}_{g,m,j}$ 。为了计算每个区域的中间对象函数,利用来自先前迭代的对象函数结果 $\tilde{O}_{g,m,1} = O_{g,i}$ 。对于算法的第一次迭代,对象函数可以在所有点 r 处都均等一致,或者可以在每个点处随机选择。还可以使用其他初始值。此外,应该注意,每个区域的初始对象函数的值可以相等或不同。

[0095] 因此,使用以下等式,对第 m 个区域更新中间对象函数 $\tilde{O}_{g,m,j}$:

[0096]

$$\tilde{O}_{g,m,j+1}(r) = \tilde{O}_{g,m,j}(r) + w(r-R) \left(\frac{P^*(r-R)}{|P(r-R)|^2 + \delta} \psi_{c,j}(r, R) - \frac{|P(r-R)|^2}{|P(r-R)|^2 + \delta} \tilde{O}_{g,m,j}(r) \right) \quad (18)$$

[0097] 其中, $j \in 1, \dots, \frac{n}{m} - 1$, $R = R_{f(j)}$, 其中, $f(j) = \text{mod}(j, n)$, mod 表示 j 被 n 整除之后的模数(余数)。

[0098] 如果 n/m 不是整数,则可以适当选择 j 的最大值。例如,在包括 2 个区域和 5 个孔

径位置(m=2,n=5)的示例性实施方式中,一个区域可以必要地包括 3 个孔径位置,而另一个区域包括 2 个孔径位置。对于包括 3 个孔径位置的区域, j 需要假设值 1、2 和 3,而对于另一个区域, j 需要假设值 1 和 2。因此,应该适当地选择对于每个区域的 j 的最大值。

[0099] 作为步骤 405 的结果,已经计算了用于所有区域的中间对象函数。因此,对于该实施例,在第一步 j=1 之后,计算作为区域 1 的中间对象函数 $\tilde{O}_{g,1,1}$ 以及用于区域 2 的 $\tilde{O}_{g,2,1}$ 。

[0100] 在步骤 406 中,组合中间对象函数猜测,以产生用于迭代 i 的对象函数猜测 $O_{g,i}$ 。

[0101] 可以通过以下等式来实现中间函数猜测的组合:

$$[0102] \quad O_{g,i+1} = O_{g,i} + \frac{W_t(r)}{\max(W_t(r))} \left(\sum_{k=1, \dots, m} w_S(r, S_k) \tilde{O}_{g,k,n/m}(r) - O_{g,i} \right) \quad (19)$$

[0103] 其中, $\max(W_t(r))$ 是遍及 r 的 $W_t(r)$ 的最大值。

[0104] 在步骤 407 中,确定算法是否已经迭代了足够的次数。算法可以进行预订次数的迭代(例如,1000),或者可替换地,可以在误差平方和(SSE)足够小时终止。

[0105] SSE 可以计算为:

$$[0106] \quad SSE = \frac{\sum \left(\left| \sum_{k=1, \dots, m} w_S(r, S_k) \tilde{O}_{g,k,n/m}(r) \right|^2 - |O_{g,i}|^2 \right)}{N} \quad (20)$$

[0107] 其中, N 是 O 中像素的数量。

[0108] 测试已经示出,当使用英特尔(RTM) Core2PC 时,使用本发明的特定实施方式,将上述现有技术所需要的每次迭代 85 秒减少到每次迭代 5 秒。

[0109] 现在将描述本发明的第二实施方式,其中,频繁改变区域之间孔径位置的划分。

[0110] 在图 7 所示的第二实施方式中,在对象函数的计算迭代期间,在区域之间再分配孔径位置。孔径位置的分配对于算法的所有迭代来说不必是固定的。例如,可以在已经执行了迭代的 50% 之后或者在迭代的每 10% 或 25% 之后改变孔径位置的分配。更优选地,对于算法的每次迭代,可以在区域之间再分配孔径位置。可以根据预定或随机的基础来执行孔径位置对区域的分配。

[0111] 该方法开始于步骤 701,并且在步骤 702 中,计算用于每个孔径位置的加权函数。如先前讨论的,可以预先计算用于每个孔径的加权函数。在步骤 703 中,执行多个区域中孔径位置的初始划分。可以预先确定初始划分,在这种情况下,还允许预先计算用于每个区域的初始加权函数的计算。在步骤 705 中,如第一实施方式的步骤 404,在计算单元之间分配中间对象函数的计算。在步骤 706 中,对于每个区域并行执行中间对象函数的第一计算。然后,在步骤 707 中组合中间对象函数以形成用于第一次迭代的对象函数。在步骤 708 中,在区域之间再分配孔径位置。因此,在先前提到的实施例中,区域 S1 在第一迭代中可以包括孔径位置 R_1 和 R_3 ,其随后在步骤 708 中变为在第二迭代中包括孔径位置 R_1 和 R_4 。由于孔径位置的再分配,在步骤 709 中重新计算用于区域的加权函数。如果利用了孔径位置对区域的预定再分配,则可以预先计算再分配的加权函数并存储在存储器中用于在步骤 709 中使用。在步骤 710 中,对于每个区域计算中间对象函数,然后在步骤 711 中进行组合以形成用

于该迭代的对象函数猜测。在步骤 712 中,按照与第一实施方式的步骤 407 相同的方式确定是否执行了足够的迭代。尽管图 7 示出了对于每次迭代在区域之间再分配孔径位置,但第二实施方式不限于这种方式,而是可以根据期望执行再分配。

[0112] 对于每个区域计算中间对象函数然后将其组合以产生用于该迭代的对象函数的优点在于,引入了中间对象函数与组合对象函数之间的相关性等级,反映了真实对象中区域之间的实际依存性。例如,如果通过等式 18 的 1000 次迭代计算用于每个区域的中间对象函数,则用于每个区域的中间对象函数进行组合以产生最终的对象函数,会存在不一致,例如表现为可能存在对于每个区域的对象函数之间的较大差异。然而,频繁组合中间对象函数来产生组合对象函数减少了这种差异。即,组合中间对象函数并且在用于计算每个中间对象函数的随后迭代中使用该组合,由此避免了隔离地创建每个中间函数。

[0113] 应该理解,本发明的实施方式能够以硬件、软件或者硬件和软件的组合的形式来实现。例如,任何这种软件能够以易失性或非易失性存储的形式(诸如像 ROM 的存储设备、可擦除或可重写)或者以诸如 RAM、存储芯片、设备或集成电路或者光学或磁性可读介质(诸如 CD、DVD、磁盘或磁带)的存储器的形式来存储。应该理解,存储设备和存储介质是机器可读存储的实施方式,其适合于用于程序,当执行程序时,实现本发明的实施方式。因此,实施方式提供了包括用于实现任何在前权利要求中要求的系统或方法的代码的程序以及存储这种程序的机器可读存储器。此外,本发明的实施方式可以经由任何介质(诸如在有线或无线连接上承载的通信信号)来电传送,并且实施方式适当地涵盖这些。

[0114] 该说明书(包括任何附属权利要求、摘要和附图)中公开的所有特征和 / 或所公开的任何方法或处理的所有步骤能够以任何组合的形式来组合,除了这些特征和 / 或步骤的至少一些的组合被相互排除。

[0115] 除非另外指定,在该说明书(包括任何附属权利要求、摘要和附图)中公开的每个特征可以通过用于相同、等效或类似目的的可选特征来代替。因此,除非另有指定,所公开的每个特征都是等效或类似特征的一般系列的一个实例。

[0116] 本发明不限于任何前述实施方式的细节。本发明扩展到在该说明书(包括任何附属权利要求、摘要和附图)中公开的特征的任何新颖的特征或者任何新颖的组合,或者扩展到所公开的任何方法或处理的步骤的任何新颖的方法或处理或者任何新颖的组合。权利要求不应该仅覆盖前述实施方式,而是还可以覆盖落入权利要求范围内的任何实施方式。

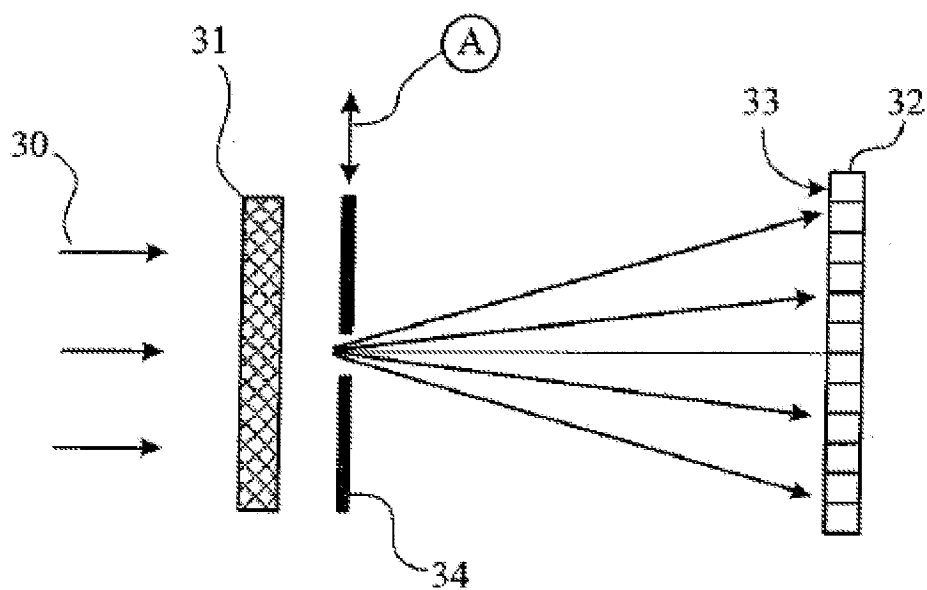


图 1(现有技术)

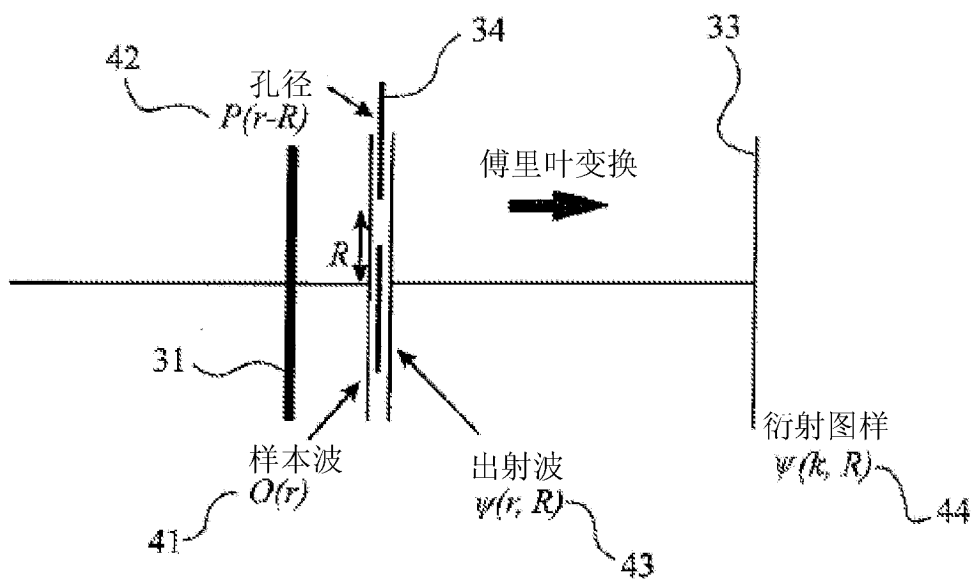


图 2(现有技术)

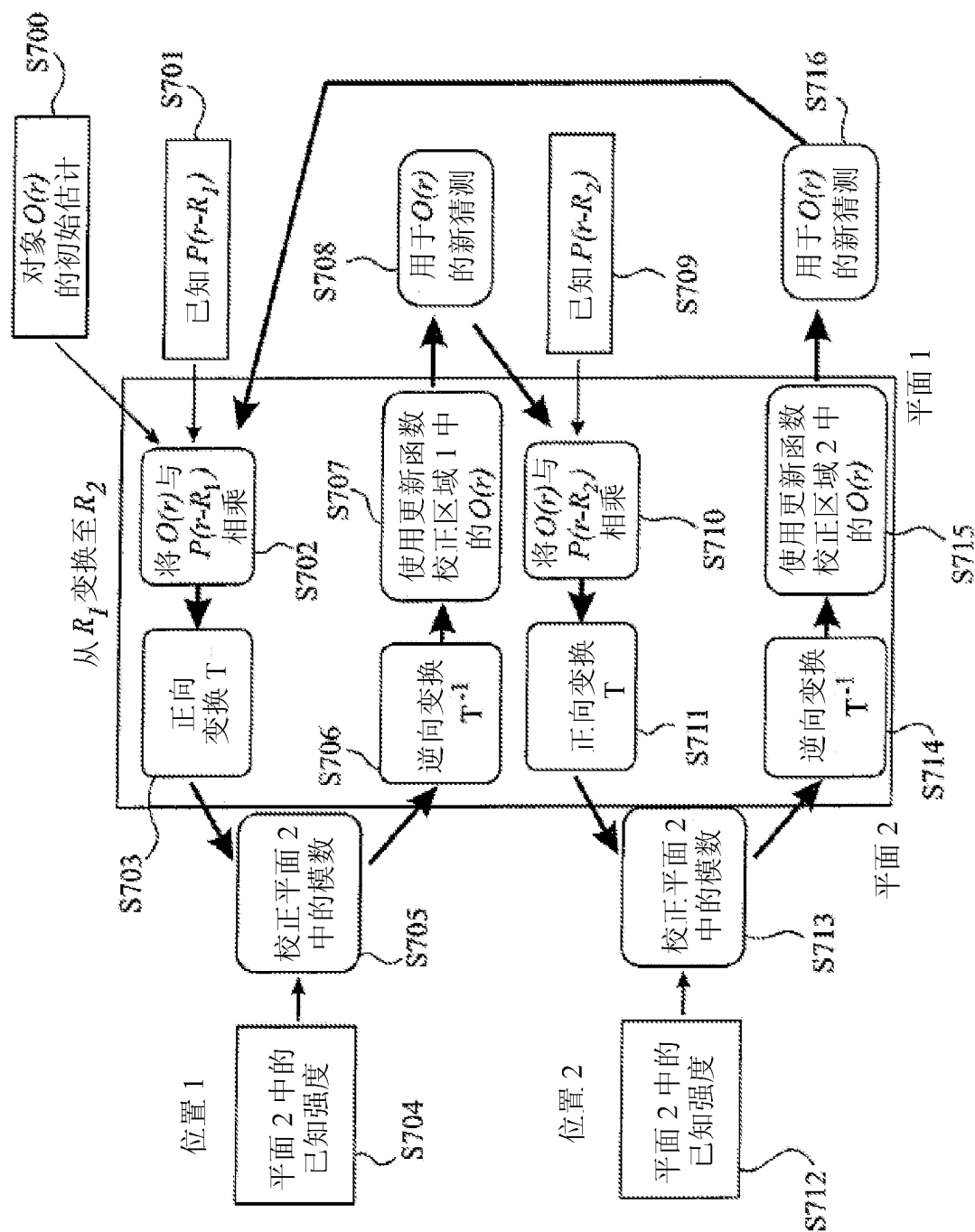


图 3(现有技术)

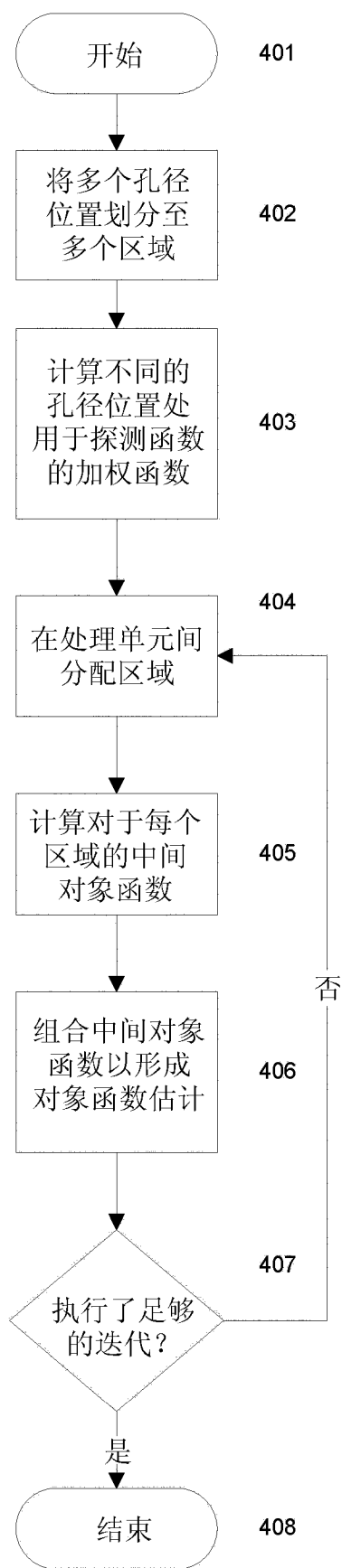


图 4

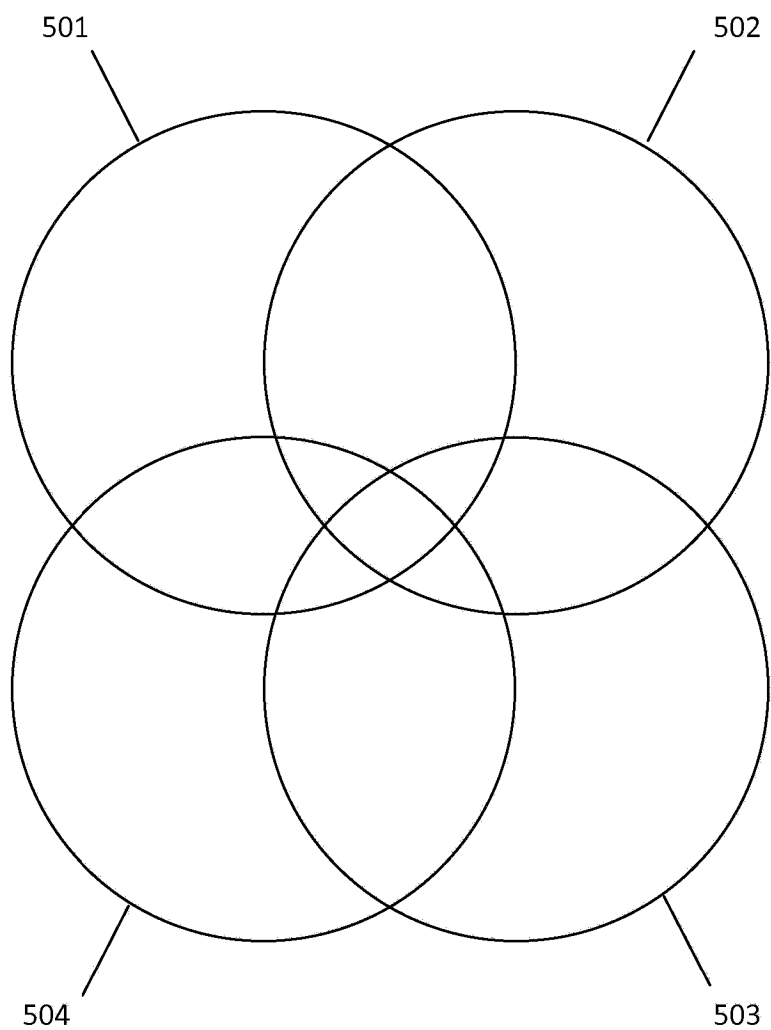


图 5

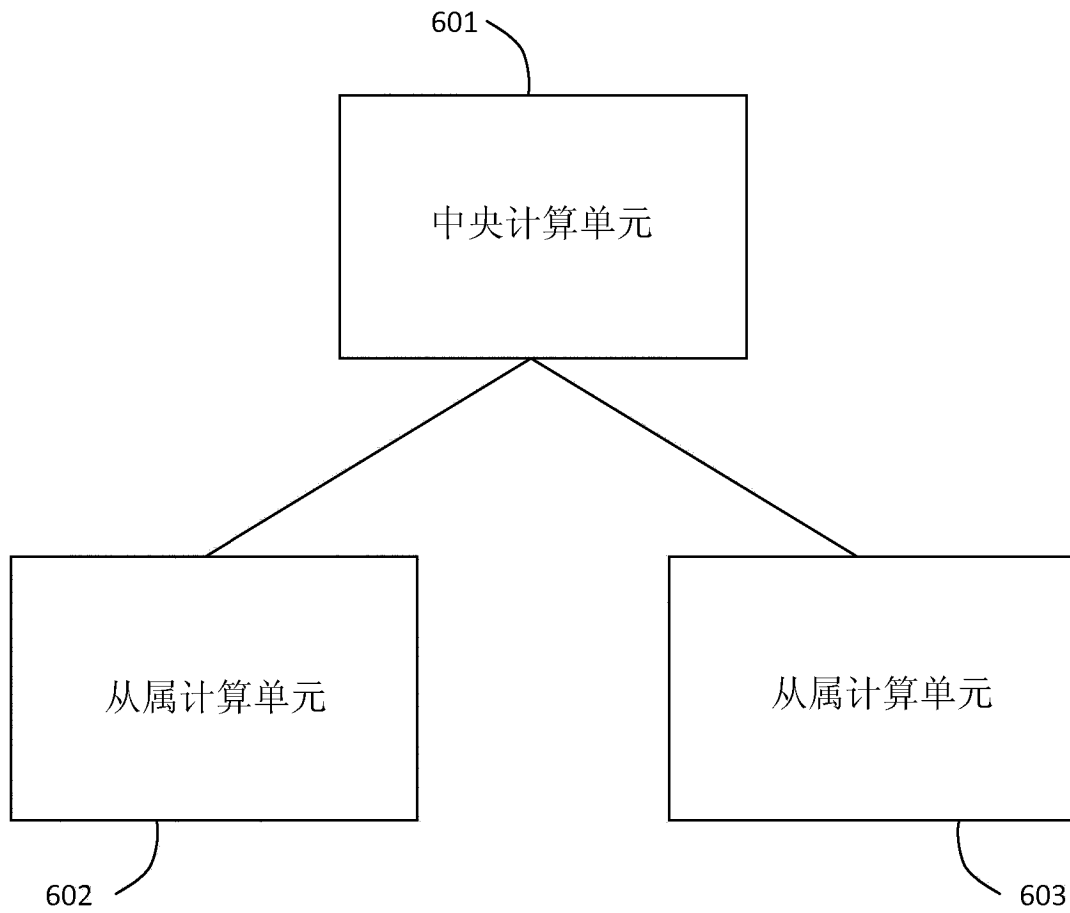


图 6

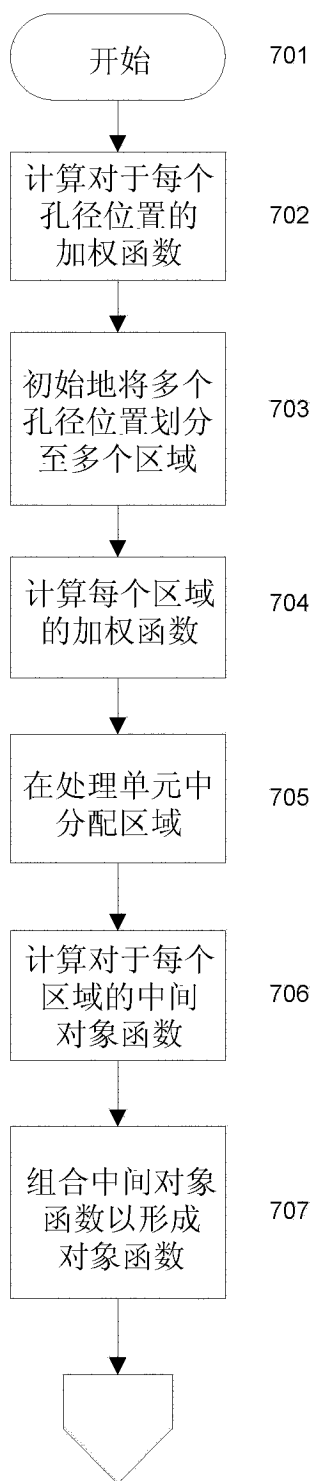


图 7(a)

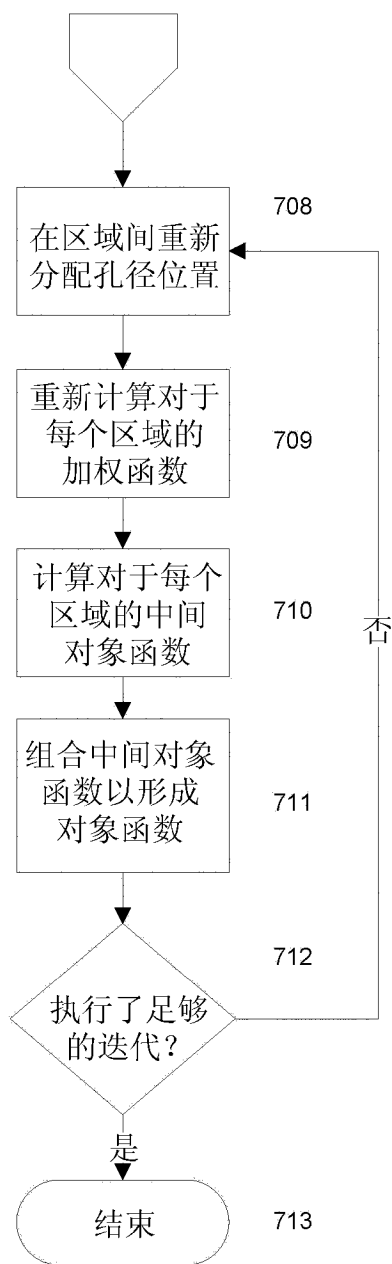


图 7(b)