



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105122046 B

(45)授权公告日 2018.01.23

(21)申请号 201480019492.7

(22)申请日 2014.03.27

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105122046 A

(43)申请公布日 2015.12.02

(30)优先权数据
1352860 2013.03.29 FR
1352859 2013.03.29 FR

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.09.29

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/FR2014/050730 2014.03.27

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/155011 FR 2014.10.02

(73)专利权人 斯奈克玛
地址 法国巴黎

(72)发明人 威廉·本泽 瓦莱里奥·格雷兹

(74)专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有限公司 11270

代理人 徐川 武晨燕

(51)Int.Cl.
G01N 25/72(2006.01)
G01N 29/44(2006.01)
G06T 7/00(2006.01)

(56)对比文件
US 5245424 A,1993.09.14,
CN 102308201 A,2012.01.04,
CN 101918818 A,2010.12.15,
CN 1321884 A,2001.11.14,
US 6512843 B1,2003.01.28,
US 2008/0000299 A1,2008.01.03,
US 2011/0222754 A1,2011.09.15,
DE 102010032241 A1,2012.01.26,
FR 2815123 A1,2002.04.12,

审查员 王艳

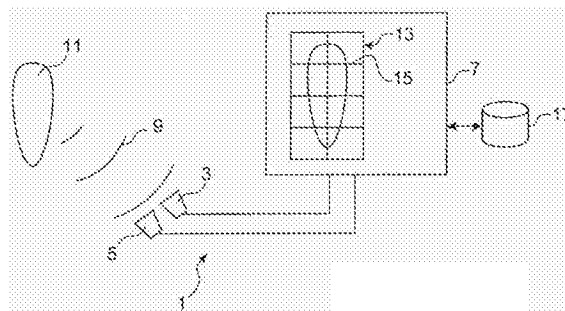
权利要求书2页 说明书13页 附图11页

(54)发明名称

用于检测物体上的缺陷方法

(57)摘要

本公开内容涉及一种用于检测物体(11)上的缺陷的方法和系统,所述方法包括以下步骤:根据与所述物体(11)相关的信号(9)形成代表所述物体的图像(13);根据自适应分辨率来构建所述图像的细分(15);以及计算不同细分之间的差异,以便检测出指示早期故障的异常细分。



1. 一种用于检测物体上的缺陷的方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:
根据与所述物体(11)相关的信号(9)形成代表该物体的图像(13);
根据自适应分辨率来构建所述图像的细分(15),该构建步骤包括将给定细分与该给定细分的近邻进行比较,然后与远邻进行比较,所述分辨率迭代地适应于所述缺陷的程度;以及
迭代计算各个细分的差异,以便检测出指示早期故障的异常细分。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法包括确认阶段,所述确认阶段包括:将与属于最后的图像(13)的异常细分相关的差异同与属于所述物体的给定数量的先前图像中每个图像的相同异常细分的差异进行比较。
3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述方法包括:
如果发现在所述最后的图像期间所述差异增加,则生成高重要性警报或极高重要性警报,以及
如果发现在所述最后的图像期间所述差异保持恒定,则生成中等重要性警报。
4. 根据权利要求1到3中任一项所述的方法,其特征在于,所述构建所述细分和计算所述差异的步骤包括以下步骤:
 - a1:在所述图像上多个当前细分中构建网格;
 - a2:计算每个当前细分和相邻当前细分之间的第一当前差异;
 - a3:检查是否存在一个当前细分其与至少第一给定数量的相邻细分的第一当前差异指示异常;
 - a4:当前步骤a3被确认时,计算所述当前细分和远处的当前细分之间的第二当前差异;
 - a5:检查所述当前细分与至少第二给定数量的远处的当前细分是否具有指示异常的第二当前差异;
 - a6:当前步骤a5被确认时,宣称所述当前细分为无效的;
 - a7:在覆盖所述无效的当前细分的区域上重构网格,以便形成与先前的无效细分重叠的新细分,所述新细分被认为是实际的当前细分;
 - a8:针对重叠区域中的新当前细分中的每一个重复步骤a2-a6;
 - a9:在所述先前的无效细分和所述新细分之间的所述重叠区域中,根据逻辑与运算来进行遮蔽,从而形成具有减小尺寸的细分,具有减小尺寸的所述细分被认为是实际的当前细分;
 - a10:检查所述实际的当前细分的尺寸是否大于预定的分辨率;以及
 - a11:当前步骤a10被确认时,针对每个实际的当前细分重复先前的步骤a2-a10,否则,宣称所述无效的当前细分或多个无效的当前细分为异常细分或多个异常细分。
5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,在步骤a3,检查所述第一当前差异是否高于第一预定阈值,以及在步骤a5,检查所述第二当前差异是否高于第二预定阈值。
6. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述方法包括构建记录所述图像的各个细分之间的声音差异的学习数据库,并且在于在步骤a3,计算所述第一当前差异和相对应的声音差异之间的差别以便检查这些差别是否高于预定等级,并且在于在步骤a5,计算所述第二当前差异和对应的声音差异之间的差别以便检查这些差别是否高于第二预定等级。

7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述物体是飞机引擎(114)的转动元件(111)。

8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,与所述物体相关的所述信号是来自所述物体的红外信号,使得代表所述物体的所述图像是代表通过热应力对所述物体进行加热之后的瞬态热场的红外图像。

9. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,与所述物体相关的所述信号是来自所述物体的超声信号,使得代表所述物体的所述图像是代表被所述物体反射的超声波的图像。

10. 一种用于检测飞机引擎(114)的至少一个转动元件(111)上的缺陷的系统,其特征在于,所述系统包括:

机载激励单元,其用于使得所述转动元件发射信号;

机载获取单元,其用于获取由所述转动元件发出的信号;以及

处理单元,其被配置为执行根据前述权利要求中任一项所述的方法中的步骤。

11. 根据权利要求10所述的系统,其特征在于,所述机载激励单元是用于通过热应力来对所述飞机引擎的所述转动元件进行加热的加热单元(113),并且在于,所述机载获取单元是用于获取代表所述转动元件的瞬态相位热场的红外图像的热成像单元(115)。

12. 根据权利要求10所述的系统,其特征在于,所述机载激励单元是用于发射超声波的单元(213),并且在于,所述机载获取单元是用于接收被所述物体反射的超声波的单元(215)。

用于检测物体上的缺陷方法

技术领域

[0001] 本公开内容涉及检测物体上的缺陷的领域,更具体地说,涉及监视飞机引擎的转动元件。

背景技术

[0002] 存在许多使用光学或听觉方法来检测物体上的缺陷的技术。这些技术的优点在于可以以非入侵的方式来使用。

[0003] 例如,在航空领域中,在引擎轮叶的产品测试或检测期间,应用了各种基于使用热成像仪的无损检测技术。这些技术包括:使用可移动式热散发器对轮叶进行加热,以及使用可移动式热成像仪来拍摄轮叶的红外图像。基于很高数量的图像区域的比较对图像进行分析,以便检测出叶片中的缺陷。

[0004] 因此,当前的方法需要进行运算,而该运算可能花费不少的时间,除非使用特别强大并且非常昂贵的计算机。

[0005] 此外,当所寻找的缺陷是未知的时,难以得知应采用何种粒度(即,要进行比较的区域是何种分辨率)。

[0006] 因此,本公开内容的主题提出了一种检测方法,该方法易于在不使用复杂计算的情况下实现,并且能够快速和精确地检测出物体或引擎的组件上的缺陷,而不具有前述缺点。

发明内容

[0007] 本公开内容是由一种用于检测物体上的缺陷的方法来限定的,该方法包括下列步骤:

[0008] 根据与所述物体相关的信号形成代表该物体的图像;

[0009] 根据自适应分辨率来构建所述图像的细分;以及

[0010] 计算各个细分之间的差异,以便检测出指示早期故障的异常细分。

[0011] 该方法能够在合理的时间内检测几乎所有尺寸的缺陷。

[0012] 有利地,该方法包括确认阶段,所述确认阶段包括:将与属于最后的图像的异常细分相关的差异同与属于所述物体的给定数量的先前图像中的每个图像的相同异常细分的差异进行比较。

[0013] 这使得能够确认对缺陷的检测,同时避免错误警报。

[0014] 有利地,该方法包括:

[0015] 如果发现在所述最后的图像期间所述差异增加,则生成高重要性警报或极高重要性警报,以及

[0016] 如果发现在所述最后的图像期间所述差异保持恒定,则生成中等重要性警报。

[0017] 这使得能够估计早期故障或缺陷的严重性。

[0018] 根据本公开内容的优选实施例,构建所述细分和计算所述差异的步骤包括以下步

骤:

[0019] (a1) 在所述图像上多个当前细分中构建网格;

[0020] (a2) 计算每个当前细分和相邻当前细分之间的第一当前差异;

[0021] (a3) 检查是否存在一个当前细分其与至少第一给定数量的相邻细分的第一当前差异指示异常;

[0022] (a4) 当前步骤(a3)被确认时,计算所述当前细分和远处的当前细分之间的第二当前差异;

[0023] (a5) 检查所述当前细分与至少第二给定数量的远处的当前细分是否具有指示异常的当前差异;

[0024] (a6) 当前步骤(a5)被确认时,宣称所述当前细分为无效的;

[0025] (a7) 在覆盖所述无效的当前细分的区域上重构网格,以便形成与先前的无效细分重叠的新细分,所述新细分被认为是实际的当前细分;

[0026] (a8) 针对所述重叠区域中的所述新当前细分中的每一个重复步骤(a2)-(a6);

[0027] (a9) 在所述先前的无效细分和所述新细分之间的所述重叠区域中,根据逻辑与运算来进行遮蔽,从而形成具有减小尺寸的细分,具有减小尺寸的所述细分被认为是实际的当前细分;

[0028] (a10) 检查所述实际的当前细分的尺寸是否大于预定的分辨率;以及

[0029] (a11) 当前步骤(a10)被确认时,针对每个实际的当前细分重复先前的步骤(a2)-(a10),否则,宣称所述无效的当前细分或多个无效的当前细分为异常细分或多个异常细分。

[0030] 从而,该方法基于缩放和最优数量的相关比较,从而减少了计算负荷并且不预先判断超过分辨率的缺陷的尺寸。

[0031] 有利地,在步骤(a3),检查所述第一当前差异是否高于第一预定阈值,以及在步骤(a5),检查所述第二当前差异是否高于第二预定阈值。

[0032] 这使得在检测缺陷时能够将任何错误以及远距区域之间的环境中的任何差别考虑在内。

[0033] 有利地,该方法包括构建记录所述图像的各个细分之间的声音差异的学习数据库,以及在步骤(a3),计算所述第一当前差异和相对应的声音差异之间的差别以便检查这些差别是否高于预定等级,以及在步骤(a5),计算所述第二当前差异和对应的声音差异之间的差别以便检查这些差别是否高于第二预定等级。

[0034] 这使得能够考虑到可能存在于所述物体内的任何不均匀。

[0035] 有利地,所述物体是飞机引擎的转动元件。

[0036] 这是由于,根据本公开内容的数字处理花费的计算时间不多,并因此能够通过安装在飞机上的处理单元来容易地实现。

[0037] 根据一个实施例,与所述物体相关的所述信号是来自所述物体的红外信号,使得代表所述物体的所述图像是代表通过热应力对所述物体进行加热之后的瞬态热场的红外图像。

[0038] 根据另一实施例,与所述物体相关的所述信号是来自所述物体的超声信号,使得代表所述物体的所述图像是代表被所述物体反射的超声波的图像。

[0039] 本公开内容还涉及一种用于检测飞机引擎的至少一个转动元件上的缺陷的系统，所述系统包括：

[0040] 机载激励单元，其用于使得所述转动元件发射信号；

[0041] 机载获取单元，其用于获取由所述转动元件发出的信号；以及

[0042] 处理单元，其被配置为执行根据前述权利要求的任一项所述的方法中的步骤。

[0043] 根据本公开内容的系统的第一实施例，所述激励单元是用于通过热应力来对所述引擎的所述转动元件进行加热的加热单元，以及所述获取单元是用于获取代表所述转动元件的瞬态相位热场的红外图像的热成像单元。

[0044] 根据本公开内容的系统的第二实施例，所述激励单元是用于发射超声波的单元，以及所述获取单元是用于接收被所述物体反射的超声波的单元。

[0045] 本公开内容还涉及一种用于检测飞机引擎的至少一个转动元件上的缺陷的自动系统，所述自动系统包括：

[0046] 机载加热单元，其用于通过热应力对引擎的所述转动单元进行加热；

[0047] 机载热成像单元，其用于获取代表所述转动单元的瞬态热场的至少一个红外图像，以及

[0048] 处理单元，其用于计算与所述图像的各个细分之间的热场的分量有关的差异，以便检测指示所述转动元件上的缺陷的所述热场分量的变化。

[0049] 因而，能够在每个航班自动地监视引擎的转动元件，以便检测出疲劳的最初迹象。这使得能够进行预见性维护而不是简单地预防性维护，原因在于能够当转动元件真正地遭受损坏时更换该转动元件，从而增加收益性（更换较少零件）和安全性（较少的叶片损失风险）。根据差异测量结果来进行分析，使得能够免受环境影响。具体地，在空间上靠近的区域之间进行比较避免了由于热源的距离或阳光照射造成的问题。

[0050] 有利地，当对应于当前细分的差异指示异常时，处理单元配置为通过重组细分和/或细化当前对细分的比较来计算其它差异，以便定位缺陷的位置。

[0051] 这使得能够减少要学习的细分的数量，并因此减少计算机的计算时间和工作量。

[0052] 有利地，处理单元配置成在每次航班时记录与各个细分的热场相关的所述差异以及依据不同的航班来分析所述差异的变化。

[0053] 这使得能够巩固检测的结果以及系统性地监视不同航班的转动元件的可靠性。

[0054] 有利地，所述检测系统包括代表各种形式的恶化以及其进展程度的恶化标签的数据库，并且处理单元配置为将与具有缺陷的细分的热场相关的差异与所述恶化标签进行比较。

[0055] 这使得能够确定缺陷的最可能类型。

[0056] 根据本公开内容的有利实施例，所述加热单元包括已经存在于引擎中的至少一个防霜冻加热元件。

[0057] 这减少了安装重量并且还使得能够监视加热单元自身。

[0058] 根据一个变型，所述加热单元旨在用于通过热脉冲来对所述元件加热。

[0059] 因而，可以在足够短的时间内对转动元件加热，以便转动元件的材料不会达到恒定温度。

[0060] 根据该变型，处理单元配置为计算当前细分的热场的幅度和相邻细分的热场的幅

度之间的差异。

[0061] 根据另一变型,所述加热单元旨在用于通过周期性热波来加热所述元件。

[0062] 根据该另一变型,所述处理单元配置为计算当前细分的热场和相邻细分的热场之间的相位差。

[0063] 根据相位差的检测具有较少受到热源的距离或来自太阳的照射的影响的优点,原因在于所测量的不是温度而是相位差。

[0064] 有利地,所述转动元件是所述引擎的叶轮的轮叶。

附图说明

[0065] 通过参考附图,阅读本公开内容的优选实施例,本公开内容的其它特征和优点将变得更清楚,其中:

[0066] 图1根据本公开内容,示意性地示出一种用于检测物体上的缺陷的系统;

[0067] 图2是示出根据本公开内容的优选实施例的检测方法的各个步骤的算法;

[0068] 图3A-3E是示意性地示出图2的流程图中的步骤的图像上的网格;

[0069] 图4A-4D根据本公开内容,示出对各种网格上的点状渐进缺陷的检测;

[0070] 图5是根据本公开内容、根据所述方法的第一实施例的、包含确认阶段的检测算法;

[0071] 图6是根据本公开内容、根据所述方法的第二实施例的、包含确认阶段的检测算法;

[0072] 图7根据图1中的系统的第一实施例,示意性地示出一种用于检测飞机引擎的转动元件上的缺陷的系统;

[0073] 图8是根据图7中的系统示出检测引擎的叶轮上的缺陷的步骤的狂徒;以及

[0074] 图9根据图1中的系统的第二实施例,示意性地示出一种用于检测飞机引擎的转动元件上的缺陷的系统。

具体实施方式

[0075] 以本公开内容为基础的概念是基于一种用于使用代表物体的图像并且在区域之间进行最小数量的比较来检测该物体中的缺陷的方法,其中,所述区域的大小反复地适应于缺陷的大小。

[0076] 图1根据本公开内容,示意性地示出一种用于检测物体上的缺陷的系统。

[0077] 检测系统1包括激励单元3、获取单元5以及数据处理单元7。

[0078] 所述激励单元旨在用于使得由物体11发送信号9,而获取单元5旨在用于获取这些信号。

[0079] 通过举例的方式,激励单元3是用于通过热应力对物体11进行加热的加热单元,并且获取单元5是用于获取代表瞬态热场的红外图像的热成像单元(参见图7)。

[0080] 根据另一示例,激励单元3是用于发射超声波的单元,并且获取单元5是用于接收被物体11反射的超声波的单元(参见图9)。

[0081] 处理单元7旨在用于处理与物体有关的信号9,以便检测缺陷并生成警报。

[0082] 更具体而言,对处理单元7进行配置,以便根据与物体11有关的信号9来形成代表

该物体的图或图像13。图像13在此被定义为物体11在数值或数学意义的界限中的表示,在该界限中,图像13上的每个点对应于物体11的前一物体(antecedent)。因而,该图像可以对应于例如物体11的光学、热力学或声学表现。

[0083] 处理单元7还配置为根据自适应分辨率(也就是说,根据与缺陷的程度相适应的分辨率)来反复地构造图像13的细分。

[0084] 此外,处理单元7配置为反复地计算各个细分之间的差异,以便检测出指示初期故障的异常细分。

[0085] 图2是示出根据本公开内容的优选实施例的检测方法的各个步骤的算法。

[0086] 此外,图3A-3E是示意性地示出图2的流程图中的步骤的图像13上的网格。

[0087] 在步骤E1,处理单元7配置为根据与物体11有关的信号9来形成代表该物体的图像13。例如,图像13可以是由热成像单元所获取的热场的表现或者由超声波传感器所获取的超声信号的表现。还定义了与缺陷的最小尺寸相对应的给定的分辨率。这使得首先能够不警报可接受的缺陷,并其次能够给与该算法一个停止点。

[0088] 在步骤E2,处理单元7配置为以多个当前细分在图像13上构造网格。根据物体的尺寸来选择细分的维度,使得能够具有近邻和远邻。

[0089] 图3A示出了在以具有相同尺寸的大方格的形式9个细分115a-115i中,图像13的一部分上的网格15。较小的方格225代表所选的分辨率。此外,应当注意的是,这些细分在外形上还可以是六边形或三角形或其它几何形状。

[0090] 在步骤E3,处理单元7配置为每个当前细分115a和相邻的当前细分115b-115i之间的第一当前差异。例如,该差异代表一个细分和一个相邻细分之间的物理参数(例如,光、热或声场)值的差别。

[0091] 更具体地,处理单元7计算与每个细分有关的物理参数的分量,并接下来将每个细分的分量与其邻居的分量进行比较。

[0092] 根据图3A中的示例,通过首先计算方格115a中的物理参数的分量并其次计算与8个相邻方格115b-115i中的每个方格相关的分量,来将每个方格与其8个邻居进行比较。

[0093] 步骤E4是一个测试,在该测试中,处理单元7配置为检查是否存在一当前细分其与至少第一给定数量的相邻细分的第一当前差异指示异常。

[0094] 异常的指示符可以例如是差异与预定阈值的比较。在一个变型中,可以通过所观测到的差异和在学习阶段期间测量到的声音差异之间的差别以及该差别与预定的级别的比较来定义异常指示符。应当注意的是,该预定的阈值或级别可以取决于若干因素,例如,邻居的数量、细分115a的大小、测量的物理参数、所要求的精度等。

[0095] 如果步骤E4的测试结果与否,则在步骤E5认为物体11是有效的。

[0096] 另一方面,如果发现一细分其与至少第一给定数量的相邻细分的第一当前差异指示异常,则认为该细分潜在地是无效的,并且转到步骤E6。

[0097] 应当注意的是,如果所述差异指示仅与一个其它相邻细分的异常,则可以认为精度不足或测量错误。换句话说,针对要被宣称为潜在地无效的细分,必须要所述差异指示与至少阈值数量的相邻细分的异常。该阈值数量还可以取决于邻居的数量、细分的大小、测量的物理参数、以及所要求的精度。在图3a的示例中,该阈值数量被选择为等于4,并且该图示出在中央的细分115a具有指示相对于其邻居115b-115i中的至少4个邻居的异常的差异。

[0098] 因此,当步骤E4的测试被确认时,在步骤E6对处理单元7进行配置,以便将潜在无效的细分与远处的细分进行比较。具体而言,处理单元7计算潜在无效的当前细分和远处的当前细分之间的第二当前差异。例如,可以将图3A中的可疑的中心方块115a与仅8个远邻(未示出)进行比较,以便限制计算负载。应当注意的是,由于可能无法在所有方向上选取到邻居,因此针对位于图像边缘的细分有所区别地选择邻居。因此,为了考虑边缘效应,可以依据潜在无效的细分是位于边缘还是在图像的内部,来选择不同的阈值。

[0099] 步骤E7是一个测试,在该测试中,处理单元7配置为:检查与至少第二给定数量的远处当前细分相比,当前细分是否具有指示异常的第二当前差异。选取相距足够远的邻居,以便留出潜在无效的区域。如果步骤E7中的测试结果为否,则在步骤E8认为该可疑的细分是有效的。这是因为,如果一个细分与其近邻是不同的但与其远邻是相同的,则可以推理出所考虑的该细分是有效的而这些近邻却不是有效的。在这种情况下,设想一个特定的状态,但在任何情况下,还将通过算法对这些近邻进行测试和检测。

[0100] 另一方面,如果步骤E7中的测试结果被确认,则在步骤E9认为该可疑的细分是无效的。

[0101] 如前所述,当差异超出预定的阈值时,检测到异常。此外,对于要被宣称为无效的可疑的细分,必须要所述差异指示与至少第二给定数量的相邻细分的异常。图3A还示出了,针对于位于中心的细分115a的远邻中的至少4个,细分115a具有指示异常的差异。

[0102] 将给定的细分与其近邻进行比较,然后与远邻进行比较,使得能够确认该细分的无效性并且调整该细分的分辨率。这是由于,如果该给定细分和近邻之间的差异指示异常,并且如果该异常是由真实的缺陷导致的,则与远邻的差异也必然指示异常,只要这些远邻距离有缺陷的区域较远。具体而言,如果异常归因于渐进缺陷,则与远邻的差异必然大于与近邻的差异。另一方面,如果缺陷极具点状形态,则与远邻的差异至少也与近邻的差异一样大。

[0103] 应当注意的是,为了避免错误警报,对于近邻比较和远邻比较,不采用相同的阈值。这是由于,远处的细分通常与可疑的区域相距足够远,因此相对于可疑的区域,远处的细分具有相当大的差异。然而,远处的区域中的环境可能是不同的,并因此两个区域之间的物理参数值可能具有显著的差别而未必存在缺陷。因此,为了避免错误警报,有利的是,与在两个靠近的细分之间进行比较相比,选择更大的阈值用于两个相距较远的细分之间的比较。

[0104] 接下来,处理单元7配置为通过对细分重组和/或细化其尺寸来计算其它差异。

[0105] 实际上,在步骤E10,处理单元7配置为将区域215重新网格化以涵盖宣称为无效的细分115a(参见图3B)。从而,形成了与无效的细分重叠的新细分。新区域215相对于无效的细分是类似的,例如具有1和2之间严格的比率。

[0106] 图3B中的示例示意性地示出了通过水平半个方块和垂直半个方块的简单位移来进行对细分的重组。从而,该示例示出了4个新的当前方块215a-215d与先前的无效当前方块115a(以虚线示出)重叠。这4个新方块215a-215d中的每个方块涵盖先前的方块115a的一部分加上先前的方块115a的紧邻区域的一部分。这使得能够仔细查看宣称为无效的区域的整体邻近区域。

[0107] 再一次地,处理单元7计算与比较区域的新划分相关的新的差异。

[0108] 这是由于,新的细分215a-215d被认为是实际的当前细分,并且针对这些新细分中每一个细分来执行步骤E11-E17,其中,步骤E11-E17分别等同于步骤E3-E9。

[0109] 因而,在步骤E11,处理单元7配置为计算每个新的当前细分215a-215d与相邻的当前细分之间的第一当前差异。

[0110] 步骤E12是一个测试,在该测试中,处理单元7配置为检查是否存在一个新的当前细分其与至少第一给定数量的相邻细分的第一当前差异指示异常。如果步骤E12的测试结果为否,则在步骤E13认为该细分是有效的,否则认为该细分潜在地是无效的并且转到步骤E14。

[0111] 在步骤E14,处理单元7配置为将该新的潜在无效的细分与远处的细分进行比较。

[0112] 步骤E15是一个测试,在该测试中,处理单元7配置为:与至少第二给定数量的远处的当前细分相比,检查新的当前细分是否具有指示异常的第二当前差异。如果步骤E15的检测结果为否,则在步骤E16认为该可疑的细分是有效的。另一方面,如果步骤E15的检测结果被确认,则在步骤E17认为该新的可疑细分是无效的。

[0113] 因而,在步骤E17结束时,存在至少一个新的无效细分和一个先前的无效细分。图3B中的示例示出了一个新的无效的当前方块215a和一个先前的无效方块115a。在当前无效方块和先前的无效方块之间进行交叉检查给与了关于缺陷的位置的更多信息。

[0114] 这是由于,在步骤E18,处理单元7配置为:根据先前的无效细分115a和新细分215a-215d之间的逻辑与(AND)运算,在重叠区域215中进行遮蔽(mask)。这形成了具有减小的尺寸的细分315a-315d,其中包括尺寸减小的至少一个无效细分315a(参见图3C)。这些尺寸减小的新细分315a-315d被认为是实际的当前细分。

[0115] 在步骤E19,处理单元7配置为检查实际的当前细分315a-315d的尺寸是否大于预定的分辨率100。如果大于,则处理单元7配置为针对每个实际的当前细分来重复先前的步骤E3-E18,否则的话,在步骤E20宣称该无效的当前细分或多个无效的当前细分为异常的细分或异常的多个细分。

[0116] 图3C示出了所述遮蔽(与运算)通过将方块的长度和宽度减小因子2来对区域进行细化。然而,无效方块315a的尺寸仍然大于与分辨率相对应的小方块100的尺寸,因此如图3D中所示,重新开始进行相同的步骤。最终,图3E示出了达到分辨率100,并且定位了小无效方块100a-100d。

[0117] 图3A-3E中的示例示出了根据本公开内容的检测方法,该方法使得能够更大地减少计算步骤的数量。

[0118] 这是由于,根据图3A-3E中的示例的图像包含 $18 \times 18 = 324$ 个小方盒100。因而,通过忽略边缘效应,如果将每个方盒100与其8个相邻方盒进行比较,则将会有2592次比较,并且仅会检测到高度集中位于方盒100上的异常情况,因此该技术效率低下。

[0119] 利用上述技术并且还忽略边缘效应的情况下,在图5A的步骤中进行 $9 \times 8 = 72$ 次比较,在图5B的步骤中进行 $4 \times 8 = 32$ 次比较,在图5C的步骤中进行0次比较,并且最终在图5D的步骤中进行 $9 \times 8 = 72$ 次比较,也就是说总共仅进行176次比较。这减少了计算时间和计算机上的负载。

[0120] 更具体而言,对于100cm x 20cm的物体的图像以及1mm的分辨率而言,如果独立地取得每个1mm的区域并与其8个邻居进行比较,则在不考虑边缘效应的情况下,将会有

1600000次比较,这可能仅检测出1mm的缺陷或极为明显的缺陷。

[0121] 然而,通过应用根据本公开内容的检测方法,取得初始的1cm网格,并且假定仅存在一个缺陷,则总的比较次数近似为16000次。

[0122] 因而,根据本公开内容的方法通过对比较的次数进行优化而大大地减少了运算数量。另外,其能够检测出尺寸介于初始细分115a的维度和所选择的分辨率100之间的缺陷。

[0123] 实际上,图4A-4D示出了各种网格上的点状渐变缺陷的检测。

[0124] 图4A和4B示出了点状缺陷21a可以在较大的方块425上或在较小的方块525上检测出。然而,图4C和4D示出了渐变缺陷21b可以在较大方块425上检测出,但无法在较小方块525上检测出。这是由于,较小方块525与其邻居之间的差异非常小,因而将无法利用传统方法(其仅考虑较小方块)来检测渐变缺陷。

[0125] 图5是根据本公开内容的检测算法,该检测算法包括根据第一实施例的确认阶段。

[0126] 该确认阶段包括与属于最后的图像的异常细分相关的差异和与属于物体的给定数量的先前图像中的每个图像的每一异常细分相关的差异的比较,其中,关于先前的异常细分的数据被记录在与处理单元相关联的数据库17中。

[0127] 步骤E21涉及对与物体11相关的物理参数(例如,光、热或声场)的测量或获取,使得能够形成物体11的图像13。

[0128] 在步骤E22,与物理参数相关的数据被发送到处理单元7。

[0129] 在步骤23,处理单元7配置为依据图2中的流程图来处理该数据。

[0130] 具体而言,在步骤E4和E12(图2),检查第一当前差异是否高于第一预定阈值。同样地,在步骤E7和E15(图2),检查第二当前差异是否高于第二预定阈值。应当注意的是,该第一阈值和第二阈值的值可以根据细分的尺寸并因此根据迭代的秩来进行修改。例如,在首次迭代中,对检测进行选择以使得极为敏感(即,较低的阈值),以便使得能够识别任何异常细分。这是由于,如果该细分较大,则该细分内的正常区域和异常区域会被平均(如果必要的话)。

[0131] 在步骤E23结束时,如果没有发现缺陷,则在步骤E24将涉及最后检测的数据库17重置为0。

[0132] 另一方面,如果在步骤E23结束时检测到一个或多个异常细分,则在步骤E25中,在前往步骤E26之前,将涉及最后的异常细分或多个异常细分的信息记录在数据库17中。

[0133] 在步骤E26,处理单元7配置为将与属于最后的图像的异常细分或多个异常细分相关的差异和与属于物体11的每个先前图像的每一异常细分或多个异常细分相关的差异进行比较。

[0134] 如果首次发现图像13具有异常,则不生成警报(步骤E27)。

[0135] 另一方面,如果在最后的图像期间发现这些差异增加,则生成高重要性警报(步骤E28)。可以添加补充警报等级,以遵循差异的趋势。例如,如果差异增加并且在给定的时间段(例如,10个航班)中推断出超过了预定的限制阈值,则生成极高重要性警报。

[0136] 最终,如果发现差异在最后的图像上仍然保持不变,则生成中等重要性警报(步骤E29)。

[0137] 此外,可以分配与各种警报等级相对应的各种阈值等级。

[0138] 图6是根据本公开内容的检测算法,该算法包括根据第二实施例的确认阶段。

[0139] 图6的算法中的步骤除了步骤E32和E33之外均与图5中的步骤一致。

[0140] 如前所述,步骤E31涉及对与物体11相关的物理参数(例如,光、热或声场)进行测量或获取,使得能够形成该物体的图像13。如果这些数据对应于第一图像,则转到步骤E32,否则转到步骤E33。

[0141] 步骤E32是学习阶段,在该学习阶段期间,通过将声音对象的第一图像的细分的差异进行比较来构造学习数据库。这可以根据图2的流程图中在相邻细分之间进行比较的步骤来进行。

[0142] 因而,在步骤E32,构造了记录原始的声音图像的各个细分之间的声音差异的学习数据库,应知道的是,这些声音差异由于物体内的固有但正常的差别而未必是一致的。

[0143] 如果物体的图像不是第一图像,则转到步骤E33,在步骤E33,处理单元7配置为依据图2中的流程图来对数据进行处理。

[0144] 然而,在步骤E4和E12(图2),计算相邻细分的第一当前差异和对应的声音差异之间的差别,以便检查它们是否高于预定的级别。在步骤E7和E15(图2),检查远处的细分和对应的声音差异之间的第二当前差异是否高于第二预定阈值。

[0145] 本公开内容的检测方法在计算资源方面是成本低廉的,并因此能够通过安装在飞机上的机载处理单元来容易地实现,以便例如检测飞机引擎的转动元件的缺陷或初期故障。

[0146] 图7根据图1中的系统的第一实施例,示意性地示出了检测飞机引擎的转动元件上的缺陷的系统。

[0147] 转动元件111是从外部可见的,并且对应于例如叶轮112的轮叶或叶片或者对应于引擎114的旋转罩。叶轮112可以属于引擎114的压缩机,并且可以例如对应于飞机引擎的流线型或非流线型风扇。

[0148] 根据图7中的实施例,与转动元件相关的信号是来自该元件的红外信号,并因此激励单元是机载加热单元113,并且获取单元是机载热成像单元115。

[0149] 加热单元113旨在用于通过热应力119对引擎114的转动元件111进行加热。自然地,热量渗透进入转动元件3的材料。从而,由于根据缺陷121的是否存在而使得热量渗透较多或较少的程度,因此局部温度将因不同的区域而异。通过举例的方式,加热单元113可以包括固定到引擎114或者固定到飞机116在转动元件111的对面的一个或多个热散发器。因此,每个热散发器113始终保持在飞机116上,并且可以进行调节以便周期性地或者以脉动的方式对转动元件121进行加热。

[0150] 此外,热成像单元115旨在用于获取至少一个红外图像113,并且转动元件111随着加热的热应力119表现出瞬态热场。应当注意的是,热成像单元115可以包括固定在引擎114或固定在飞机116在转动元件111对的一个或多个热成像摄像机。

[0151] 有利地,在转动期间并且以非常低的速度对转动元件111进行拍摄(也就是说,在起始阶段的开始时、在停止阶段的结束时或者在地面上运转时的“风车状态(windmilling)”期间)。这使得能够在不干扰图像113的获取的情况下具有对转动元件111的完整观察。以低速拍摄的优点是使用单个摄像机来一个接一个地检测所有叶片上的缺陷。当然也可以在休息时进行拍摄,但在这种情况下,需要多个摄像机来检测所有叶片上的缺陷。

[0152] 应当注意的是,加热和图像获取具有能够在没有接触的情况下来进行的优点,首先这使得能够不破坏要进行测试的装备,并且其次能够不将传感器放置在轮叶111上或非常靠近轮叶(这会妨碍其空气动力学)。此外,加热单元113和热成像单元115安装在飞机上的事实使得能够在每个航班自动地获取图像113,而无需漫长且昂贵的人工干预。

[0153] 处理单元107配置为从热成像单元115获取红外图像113,以及实现根据图2、5或6中的流程图的检测方法中的步骤。

[0154] 可以针对于红外图像113的各个细分之间的热场分量(例如,幅度或相位)来计算差异。在该热场的分量中检测出变化指示了转动元件11中的缺陷或转动元件111的初期破裂。因而,能够在每个航班自动地监视引擎114的转动元件111,以便在发生叶片损失之前检测出疲劳的最初迹象。具体地,检测系统101很好地适合于监视由复合材料制成的转动元件111,其中,该转动元件111可能遭受疲劳,该疲劳引起在其表面上不可见的缺陷121。

[0155] 应当注意的是,根据对瞬态热阶段的差异测量对数据进行分析使得能够不受诸如外部温度或阳光照射之类的环境的影响。这是由于,在两个连续的瞬间,外部条件以相同的方式作用在当前细分上。

[0156] 有利地,安装在飞机116中的计算机118或集成在飞机引擎114的EMU(引擎监视单元)中的计算机118中的处理单元107可以用于采用根据本公开内容的检测系统101。具体地,可以使用计算机118来执行在计算机118的存储单元117中记录的计算机程序,该计算机程序包括用于实现根据本公开内容的检测方法的代码指令。

[0157] 应当注意的是,所获取的数据可以直接在飞机的飞行期间进行处理。在一个变型中,该数据可以在飞机着陆后进行处理,以便不使计算机118在飞行期间超负荷。根据另一个变型,可以将所获取的数据发送到地面,以便由计算站进行处理。

[0158] 根据图7中的实施例的第一变型,加热单元113旨在用于通过热脉冲或瞬态热阶段来加热转动元件111。

[0159] 加热单元113对应于直接固定到飞机的引擎,在转动元件111的对面,以便以脉冲方式加热转动元件111的热散发器(例如,加热灯)。然后,在足够短的时间(数毫秒)对转动元件加热,使得转动元件的材料不会达到恒定温度。热散发器被固定在与转动元件相距预定距离,该预定距离可以从数毫米到数米而变化。

[0160] 热成像单元115对应于例如靠近转动元件例如在数厘米和数米之间安装的热成像摄像机,并且在加热期间获取图像。

[0161] 在这种情况下,处理单元107配置为计算当前细分的热场的幅度(也就是说,温度)和多个相邻细分的热场的幅度(也就是说,多个温度)之间的差异。因而,如果转动元件的材料在表面上或在内里有缺陷,则表面温度随着脉冲热应力将会不同。因此,将各个细分之间的温度进行比较使得能够检测出缺陷。

[0162] 根据图7中的实施例的第二变型,加热单元113旨在用于通过在给定的时间内(例如,大约数秒钟)的周期性热波来加热转动元件111。在这种情况下,热散发器113被安装到引擎(或飞机)在转动元件111对面预定的距离,该预定距离可以从数毫米到数米而变化。热散发器113例如是闪光型的加热灯,其以预定频率发送周期性的热波以周期性地加热转动元件。

[0163] 热成像摄像机115被安装在靠近转动元件111例如数厘米和数米之间,并且在加热

期间获取图像。

[0164] 热散热器113和热成像摄像机115可以直接放置在飞机的机身或机翼上。

[0165] 在该第二变型中,处理单元107配置为进行例如傅里叶分析,以便确定转动元件的红外图像的各个细分之间的相位变化。如果材料是均匀的,则热量会均等地分布,并且在各个区域之间没有相位差。另一方面,如果转动元件的材料有缺陷,则热量不会均等地传播,热波会在缺陷中加速或者减慢,这会导致相位差。因而,处理单元107计算当前细分的热场和相邻细分的热场之间的相位差,以便检测出缺陷。

[0166] 应当注意的是,该第二变型具有受到热源的距离或阳光照射的较少影响,原因在于其测量的不是温度而是相位差。为了增加测量的精度,优选地热散热器不要距离转动元件太远。

[0167] 根据图7中的实施例的第三变型,加热单元113包括已经存在于引擎中的至少一个防霜冻加热元件。

[0168] 这是由于,如果转动元件111已经具有用于预防霜冻的加热单元,则本公开内容的检测系统可以巧妙地利用该热源,并因此能够省略辅助加热单元的安装,因此降低了机载重量。

[0169] 在这种情况下,例如在启动时的自动测试期间,对防霜冻加热单元进行调节,以便在预定的时间段期间提供热量。

[0170] 如果加热元件未集成在轮叶中而是固定在外,则检测过程严格地与第一和第二变型中的过程一致。另一方面,如果加热元件足够强大并且集成在轮叶中,则可以采用相对较短的数秒的加热时间接着数秒的冷却时间。

[0171] 更具体地,如果加热单元例如包括分布在轮叶表面上的加热导线,则在给定的加热时间期间向加热元件提供恒定的电流强度,然后停止加热,以便降低温度。在给定的等待时间(不同的航班总是一直的)之后,则存在热场的瞬态阶段,并且处理单元107触发摄像机以便拍摄红外照片。在转动元件的材料中有异常的情况中,冷却将是不同的,并因此能够随航班的不同将每个细分与其近邻和远邻进行比较。另一方面,在这种情况下,无法检测出导线之下的缺陷,原因在于在此点出其温度将使材料的热响应失真。

[0172] 另一方面,如果加热导线不在表面而是集成在轮叶的材料之内,则该情况与之前所述的情况相比较为有利,原因在于该导线不会遮盖叶片的任何表面,并且在厚度上存在直接获得响应的途径,并且因此能够检测出轮叶的内部缺陷以及轮叶的整个表面上的缺陷。对数据的处理与上面详述的一样。

[0173] 此外,有利地,处理单元107配置为通过监视转动元件的幅度差异来验证防霜冻加热单元的正确运转。因而,如果幅度响应在不同的航班中越来越低甚或为0或者越来越高(甚至将叶片的老化对热响应的影响考虑在内),则处理单元107可以将此这归咎于加热单元。

[0174] 图8是示出根据图7中的系统,检测引擎的叶轮上的缺陷的步骤的框图。

[0175] 根据该示例,转动单元111对应于叶轮112的每个轮叶。

[0176] 在方框B1,处理单元107从引擎114(由方框B2表示)接收数据,该数据涉及要进行监视的叶轮112的转动速度。当叶轮112以非常低的速度开始转动时,处理单元107触发检测方法。

[0177] 在方框B3,加热单元113通过产生热场的热应力119对引擎114(方框B2)的叶轮112的叶片111进行加热,其中,该热场根据加热和冷却阶段而变化。应当注意的是,该热应力(热脉冲或周期性热波)渗透入轮叶111的材料,使得如果该材料有缺陷121(在表面上或在内里),则在表面上的热场的幅度和/或相位将会不同。

[0178] 接下来,当热场在其瞬态加热或冷却阶段中时,热成像摄像机或多个热成像摄像机115拍摄引擎(方块B2)的叶轮112的轮叶111,以便获取轮叶111的至少一个红外图像113。

[0179] 从而,在方框B4,生成至少一个红外图像113。应当注意的是,每个热成像摄像机115可以配置为每个轮叶获取一个图像或者针对叶轮112上的所有轮叶获取单个图像。

[0180] 在方框B5,用于识别轮叶111的单元122用来区分叶轮112上的各个轮叶。这使得能够随时间监视各个轮叶并且识别具有缺陷的一个或多个轮叶。

[0181] 这些识别单元例如是光学形状辨识单元。例如,能够使用自身耦接到形状辨识算法的热成像摄像机115,以便识别轮叶。

[0182] 在一种变型中,这些识别单元是通过在叶轮112的一个或两个轮叶111上进行标记或标注来进行个体化的单元。这使得能够通过利用涂料或插入在轮叶中或放置在轮叶表面的任何其它材料对轮叶进行编号来对轮叶111进行个体化。

[0183] 在方框B6,处理单元107执行图2、5或6的流程图中的步骤。具体地,处理单元107进行例如傅里叶分析,以便计算每个轮叶111的红外图像113的每个细分的热场的分量(幅度或相位),并且将各个细分彼此进行比较。

[0184] 更具体地,当使用热脉冲来加热叶轮112的轮叶111时,则热场的分量是热场的幅度(即,温度)。另一方面,当使用周期性热波来加热轮叶111时,则热场的分量是热场的相位。

[0185] 如果轮叶的材料是均匀的,则其整个表面均等地对热应力119进行响应,并因此热场的分量在所有区域上是恒定的。另一方面,如果该材料在表面上或者在内里粗糙,则在表面上,热场的分量随着热应力119会不同。因而,通过将各个相对靠近的区域上的分量进行比较,能够检测出缺陷。

[0186] 当在方框B7检测到缺陷时,则在发送警报之前,处理单元107在方框B7将若干航班的结果进行比较,以便确定是否还检测出异常(还参见图5和图6中的步骤E26-E29和E36-E39)。这是由于,处理单元107配置为在每个航班记录与各个细分的热场相关的差异,以便分析这些差异在不同航班中的变化。因而能够通过将从当前航班发布的数据与在数据库117a(方框B8)中存储的来自先前航班的数据进行比较,来量化每个轮叶111的缺陷中的变化。

[0187] 有利地,检测系统101包括异常情况库或代表各种形式的恶化及其进展情况的恶化标签的数据库117b(方框B8)。这使得处理单元107能够将与具有初期故障的区域的熱场相关的差异与恶化的特征进行比较,并从而就恶化类型及其进展情况作出裁定。

[0188] 图9根据图1的系统的第二实施例,示意性地示出了用于检测飞机引擎的转动元件上的缺陷的系统。

[0189] 根据该实施例,与转动元件相关的信号来自该转动元件的超声信号,因此,激励单元是用于发射超声波的单元213,并且获取单元是用于接收被元件211反射的超声波的单元215。

[0190] 发射单元213和接收单元215可以形成单个设备。更具体地,该设备可以包括电容式(electrocapacitive)或压电式超声源,其耦接到相同类型的接收机(即,如果源是电容式,则接收机也为电容式)。

[0191] 发射单元213和接收单元215通过轴转和/或旋转单元232被装配和安装在引擎214上。从而,发射单元213和接收单元215可以轴转和/或旋转,以便在空间上扫过若干区域,从而扫描例如叶轮212的每个转动元件211。因此,不必在每个叶片上安装超声发射/接收设备。应当注意的是,当转动元件211静止时对其进行扫描。

[0192] 有利地,超声源213以较低的范围(例如[50kHz-1MHz])产生超声,以便避免过度衰减,其中该过度衰减是频率的平方的函数。该频率可以根据所要求的分辨率(即,所寻找的缺陷的尺寸)来进行调节。频率越高则分辨率越大,但信号衰减更多,因此,必须根据应用来找到折中。

[0193] 处理单元107配置为根据被元件211反射并被接收单元215捕获的超声波219来形成代表转动元件211的图像213,并且实现根据图2、5或6中的流程图的检测方法的步骤。

[0194] 可以针对反射的超声波219的强度或方向来计算差异。应当注意的是,超声波渗透入材料中的非常少,因此,其被反射的程度将达到高于99.9%(这是由于在空气和金属或复合材料之间的声阻抗的差别)。因而,在存在任何异常或表面缺陷的情况下,该反射在强度和/或方向上将是不同的,并因此能够检测出因例如外物影响而造成的较小的结构性缺陷。

[0195] 因而,可以在每个航班自动地对引擎214的转动元件211进行监视,以便在发生叶片损失之前检测出疲劳的最初迹象。

[0196] 应当注意的是,依据对反射的波的强度或方向进行的差别测量来对数据进行分析使得能够免受诸如被监视的元件可能不会总是与接收单元相距同一距离的事实之类的环境的影响。

[0197] 本公开内容还能够监视飞机引擎中的由金属或复合材料制成的转动元件,以便使用固定到引擎或飞机的单元在每个航班自动地并且单独地检测疲劳的最初迹象。其有利地应用于监视涡扇引擎的风扇的叶片、涡轮螺旋桨引擎或开式转子的螺旋桨、以及开式转子的旋转罩。

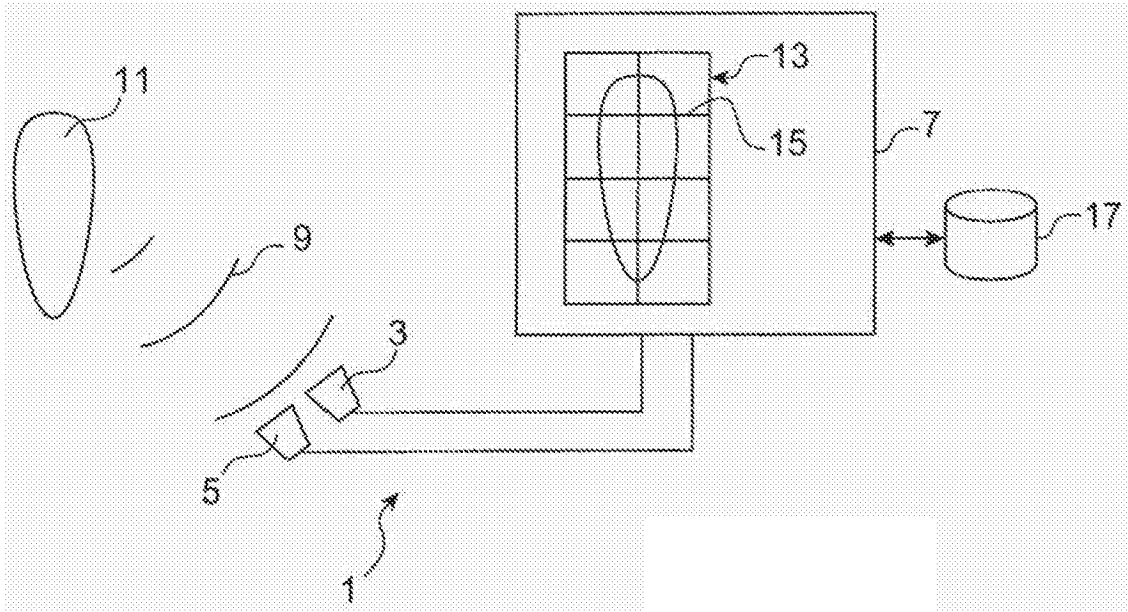


图1

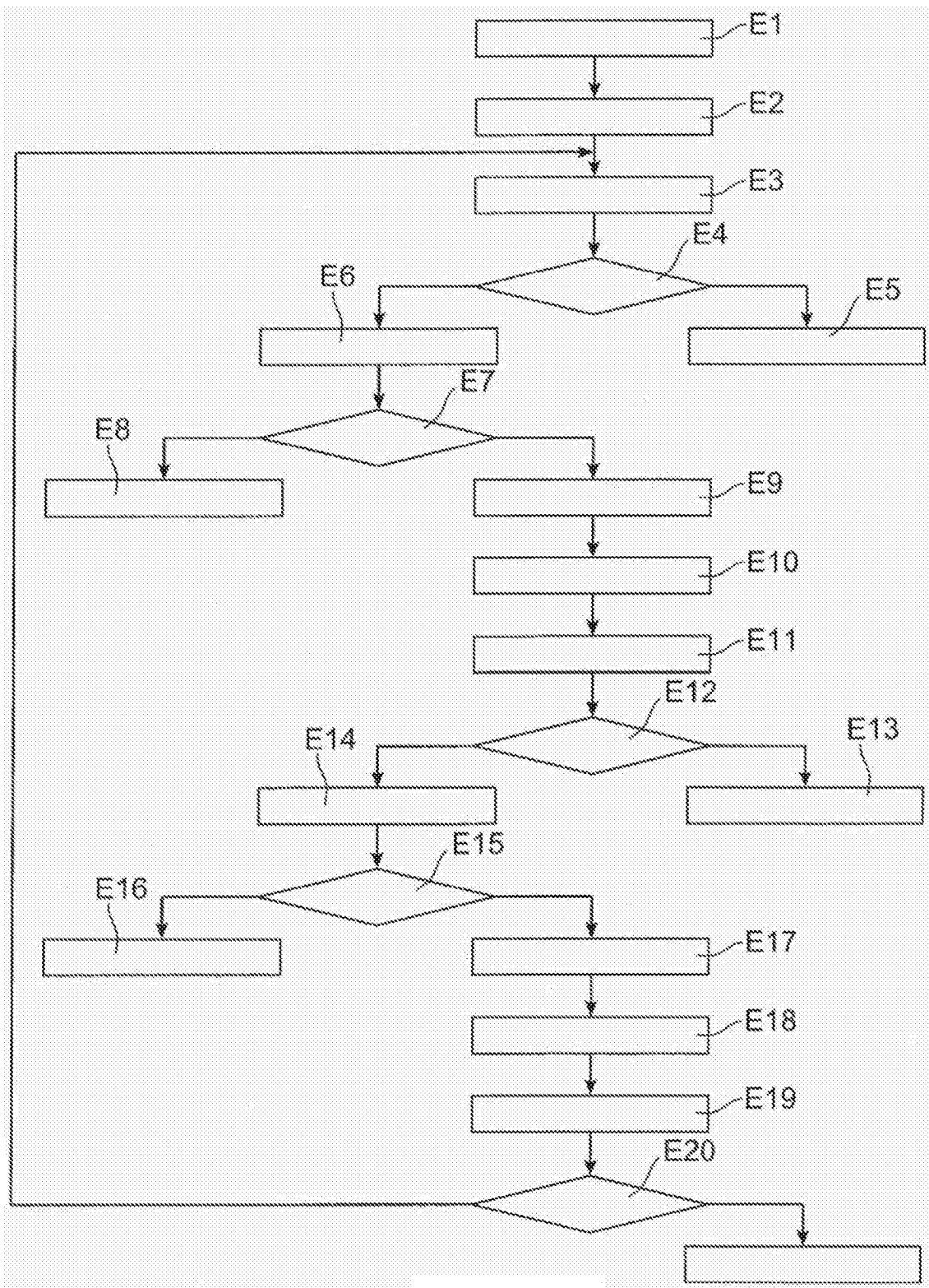


图2

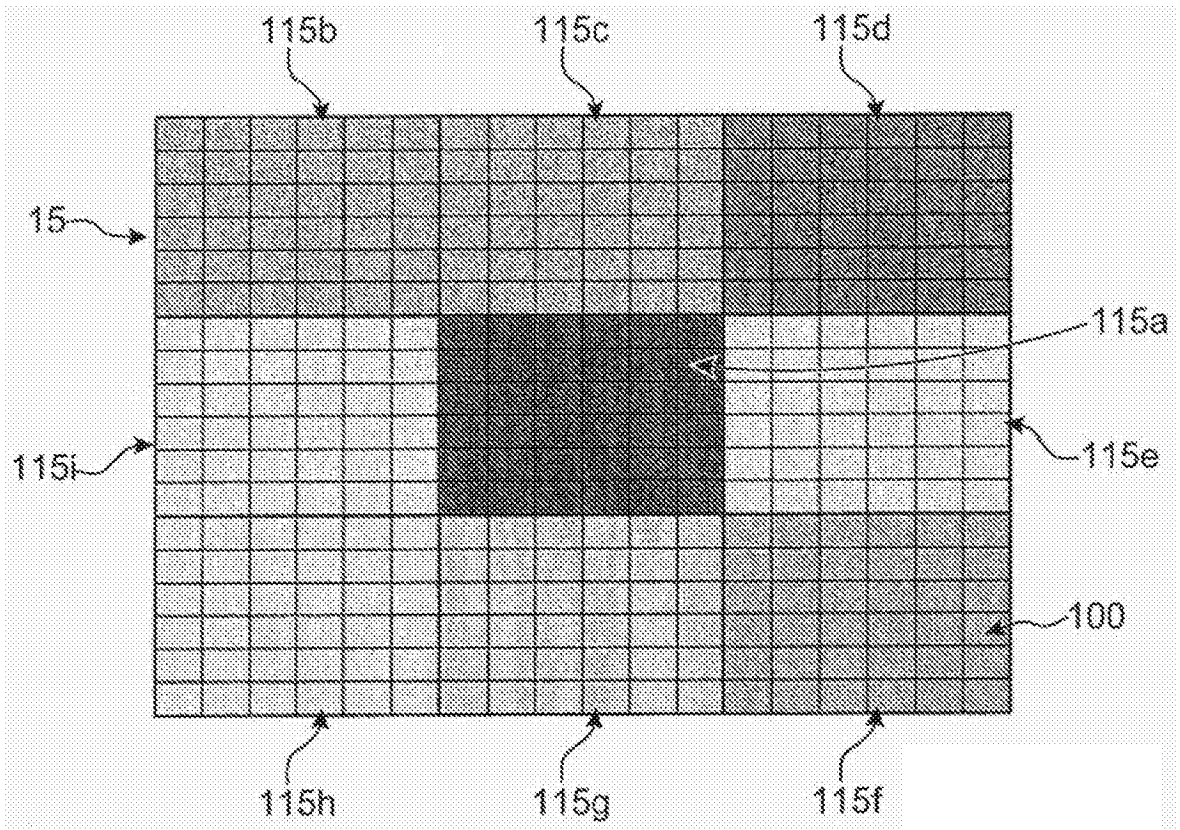


图3A

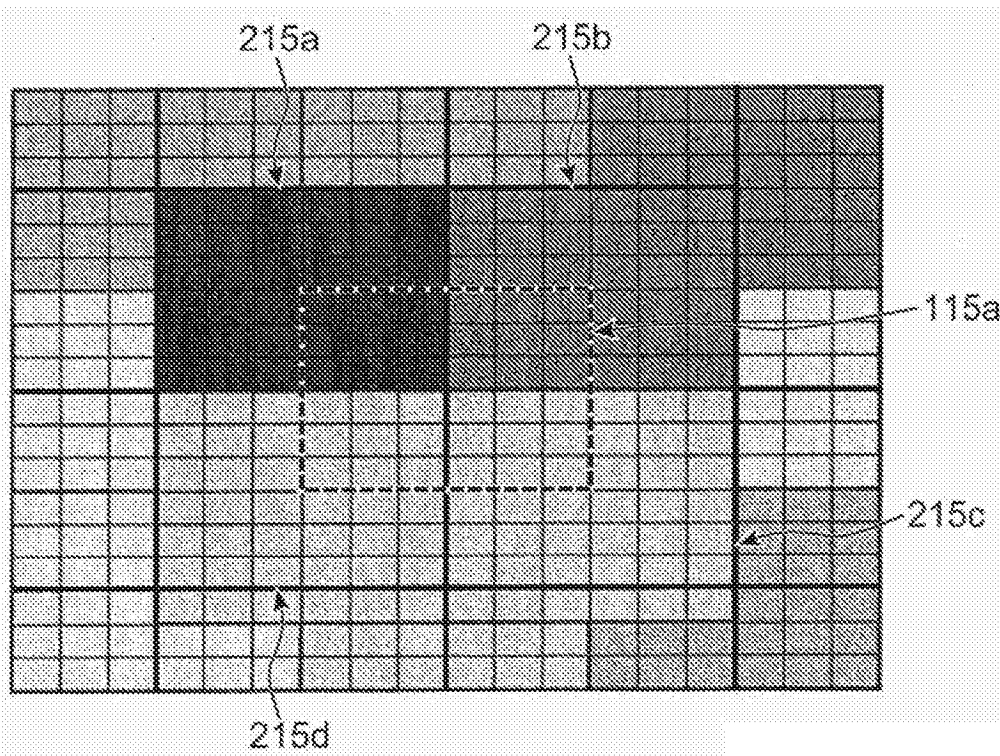


图3B

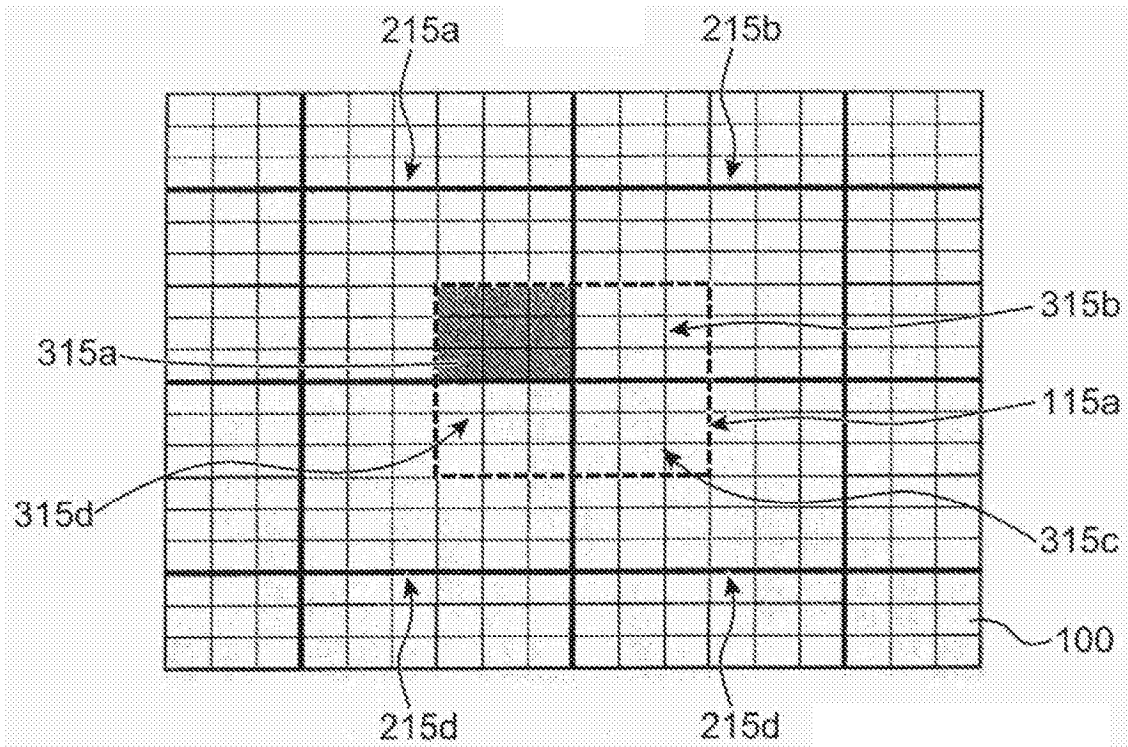


图3C

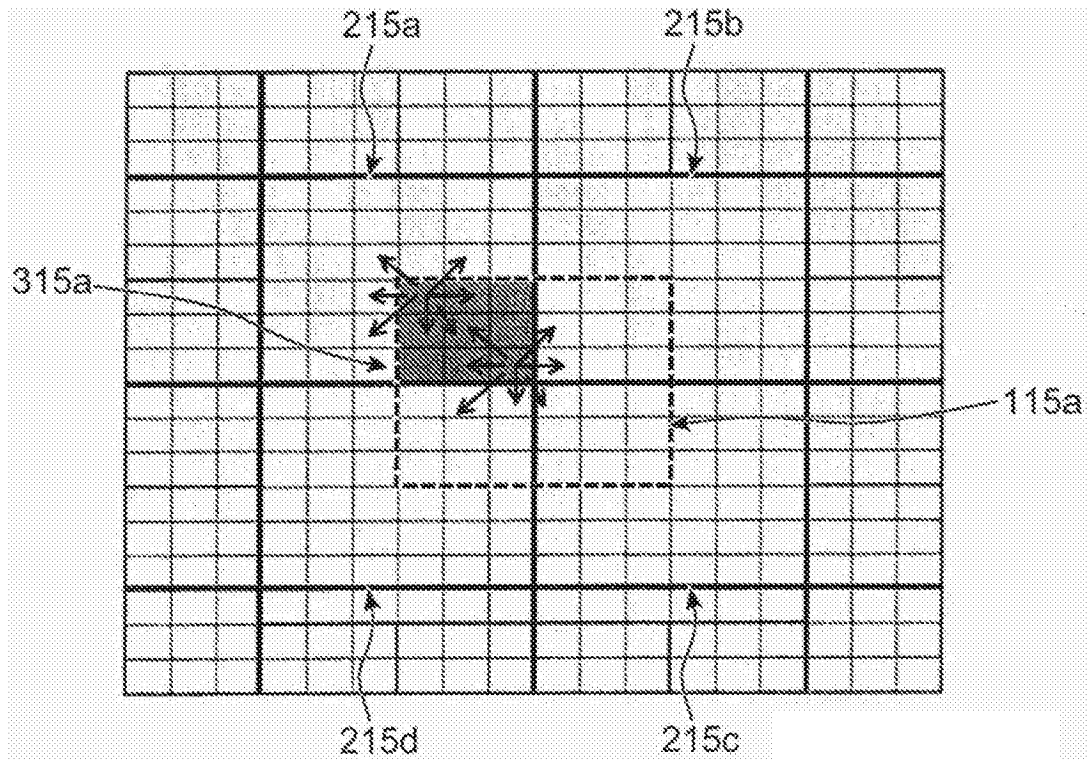


图3D

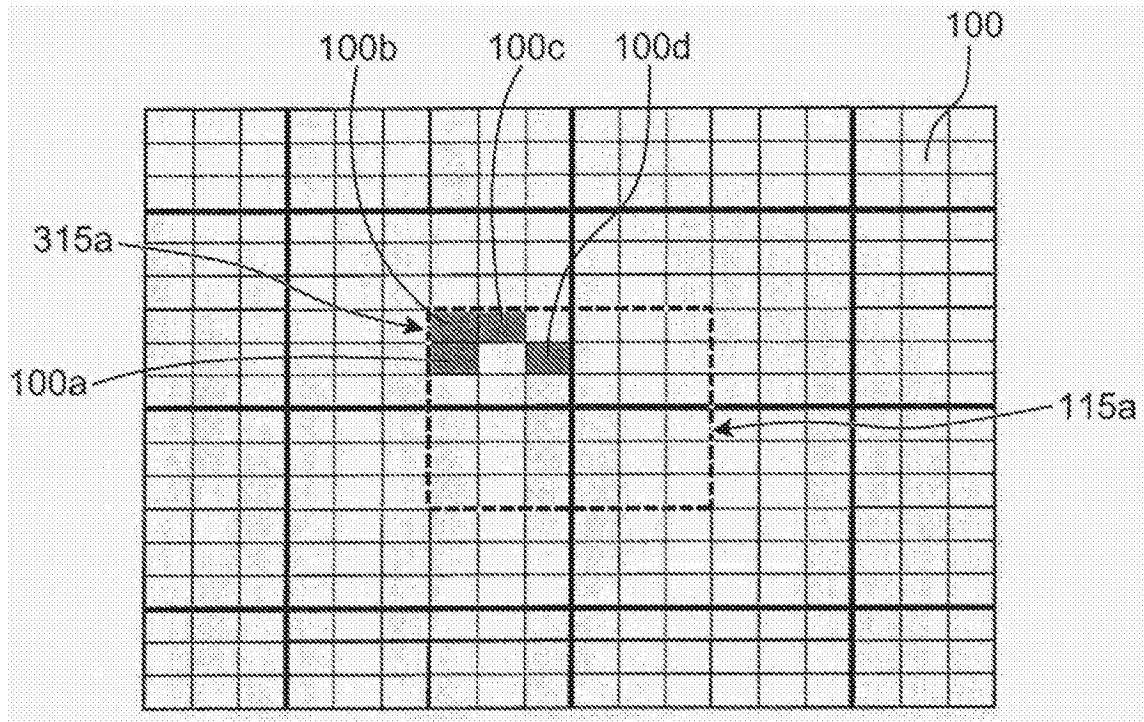


图3E

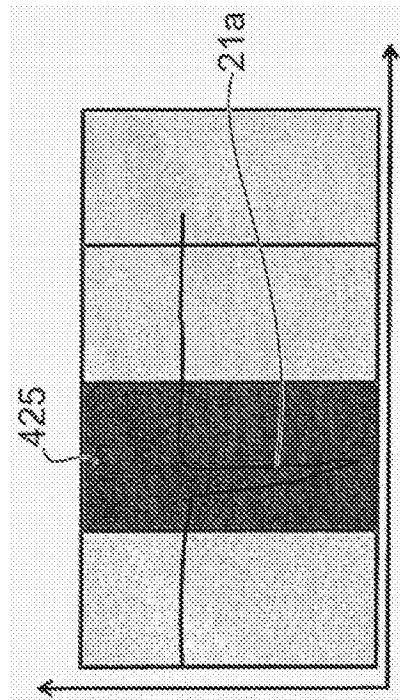


图4A

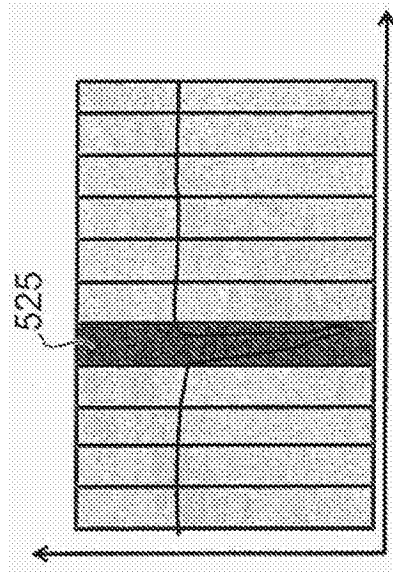


图4B

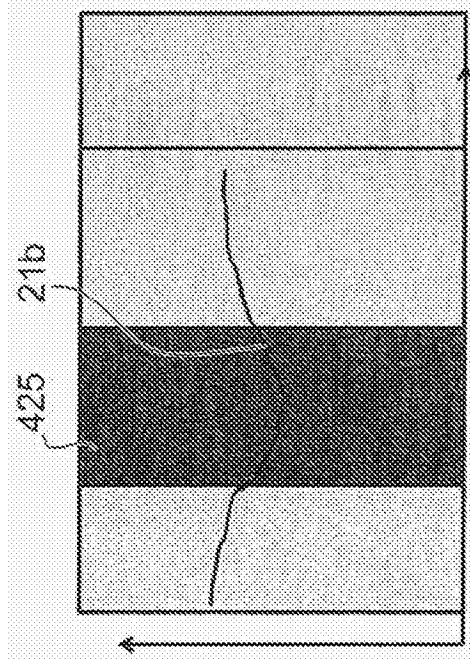


图4C

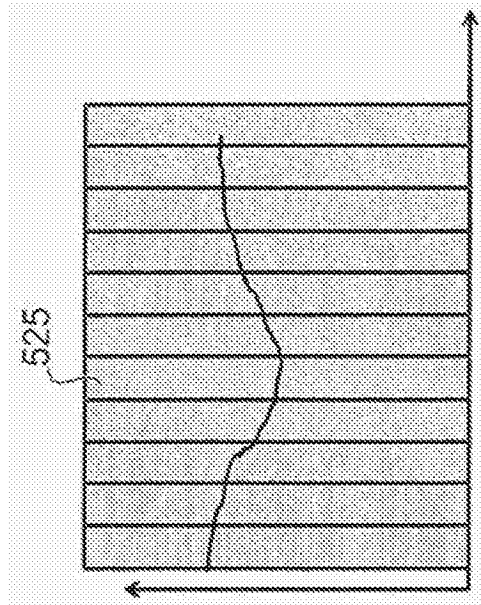


图4D

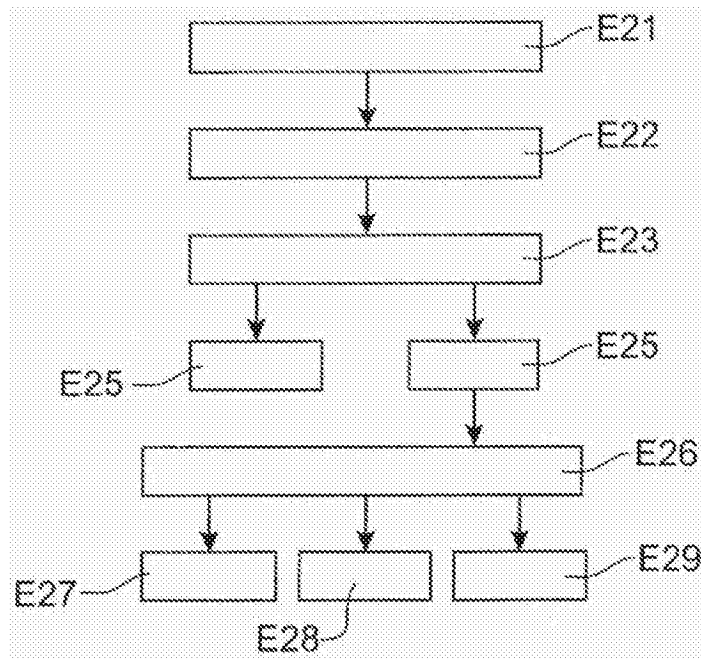


图5

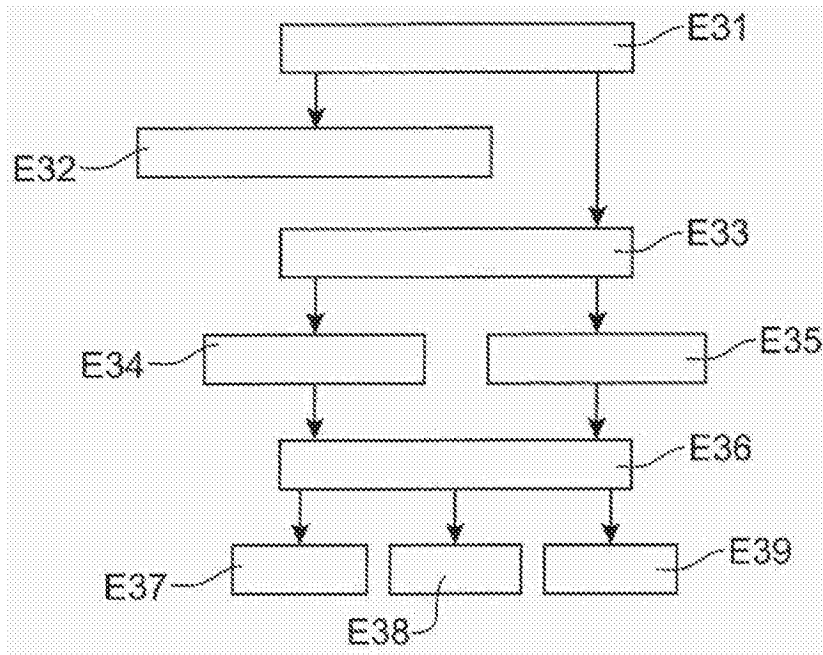


图6

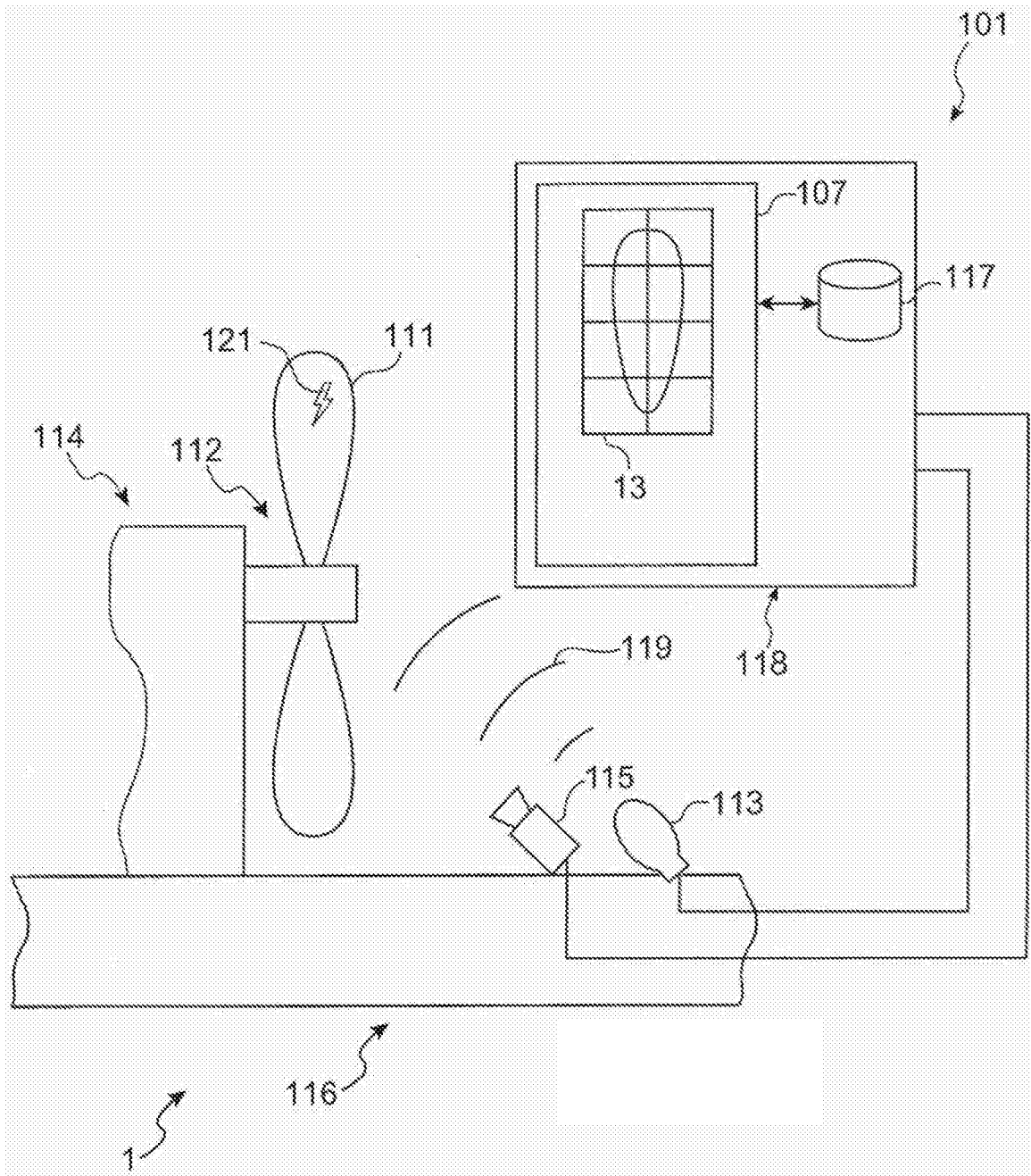


图7

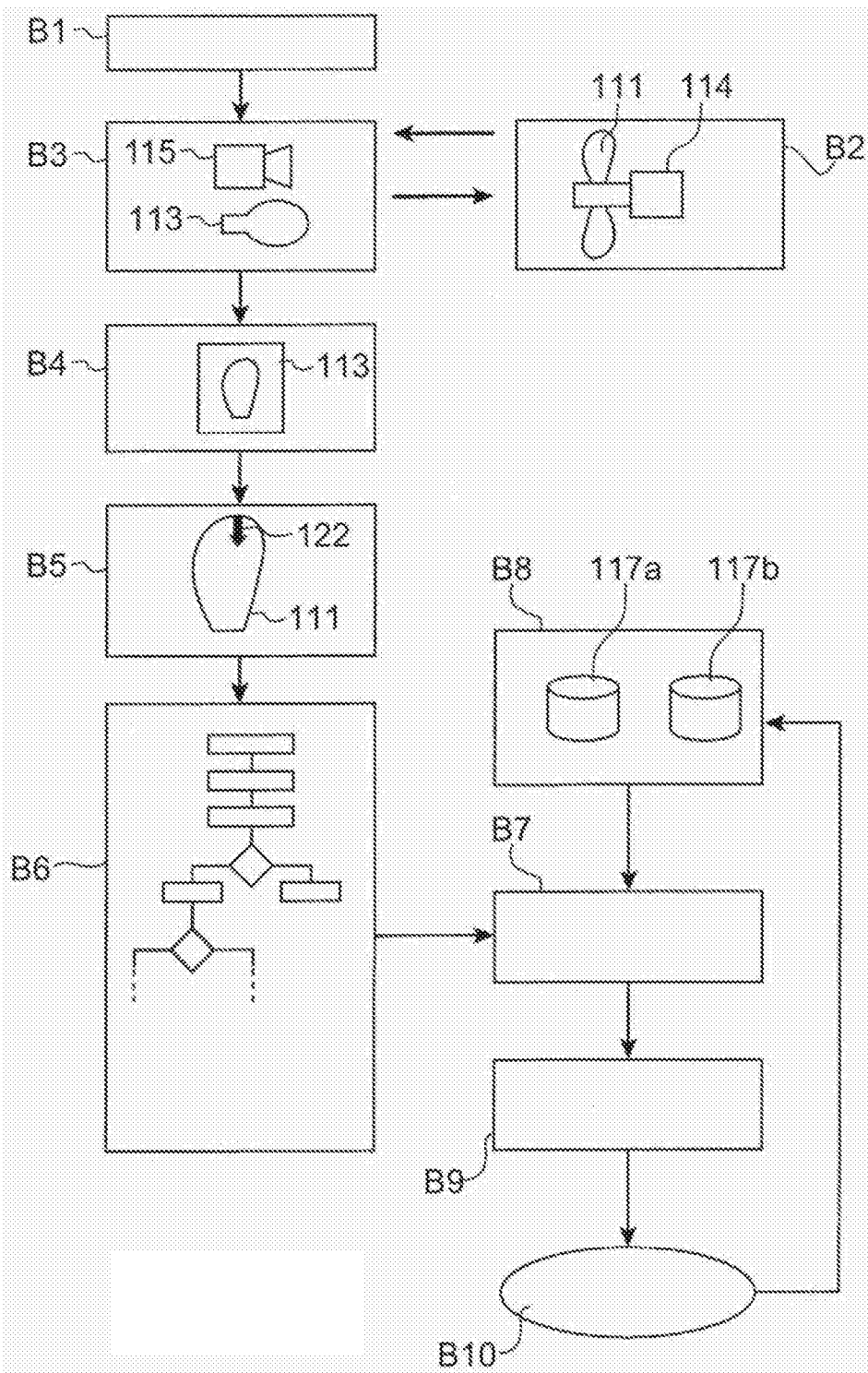


图8

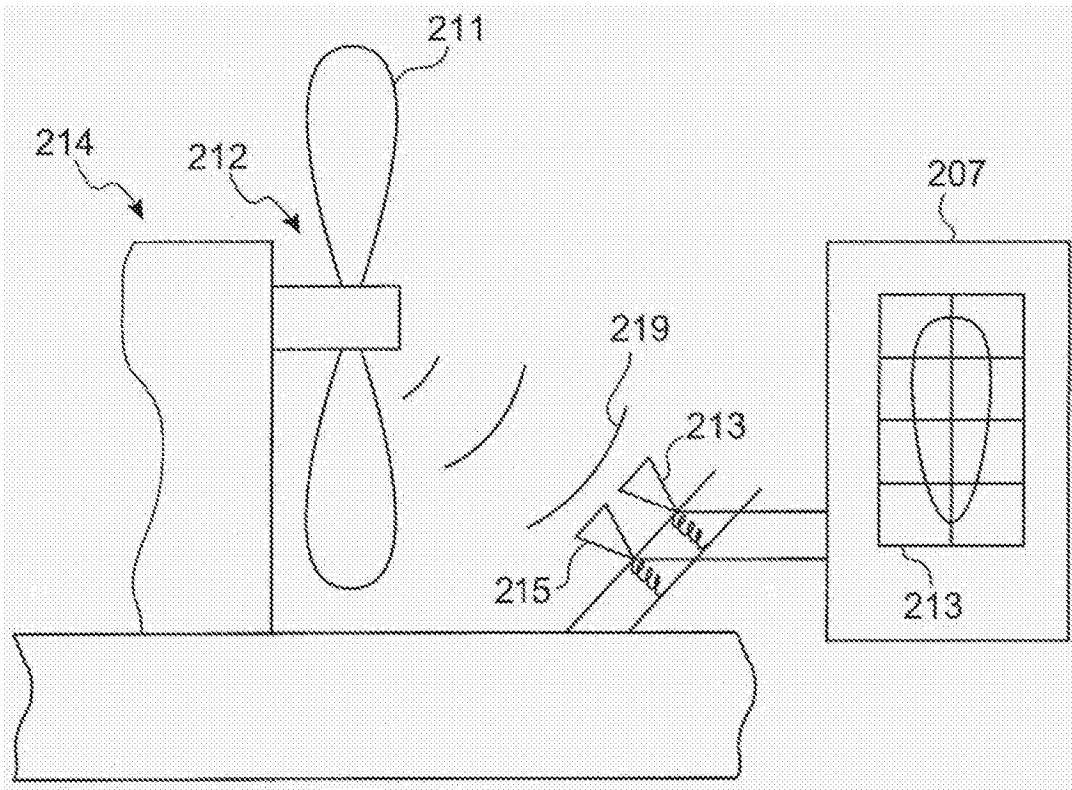


图9