



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102458225 B

(45) 授权公告日 2015. 01. 21

(21) 申请号 201080024645. 9

(22) 申请日 2010. 05. 13

(30) 优先权数据

2009-133454 2009. 06. 02 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 12. 02

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2010/058490 2010. 05. 13

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/140476 EN 2010. 12. 09

(73) 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 岩濑好彦 今村裕之 古川大介

(74) 专利代理机构 北京魏启学律师事务所

11398

代理人 魏启学

(51) Int. Cl.

A61B 3/12(2006. 01)

A61B 3/10(2006. 01)

G01N 21/17(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 特开 2009-61203 A, 2009. 03. 26, 全文 .

JP 特开 2009-66015 A, 2009. 04. 02, 全文 .

JP 特开 2008-154704 A, 2008. 07. 10, 全文 .

审查员 李尹岑

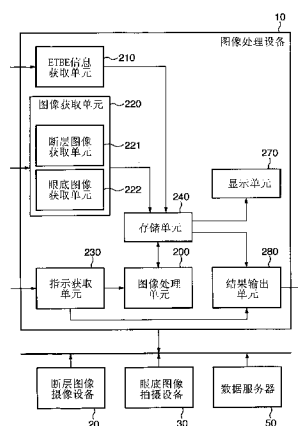
权利要求书2页 说明书17页 附图12页

(54) 发明名称

图像处理设备及其控制方法

(57) 摘要

一种图像处理设备, 其分析被检眼的视网膜层, 包括: 特征提取部件, 用于从根据所述视网膜层的断层图像所获得的投影图像和所述被检眼的眼底图像提取表示所述被检眼的解剖学特征的特征量; 判断部件, 用于基于所述特征量来判断所述解剖学特征的种类; 层结构检测部件, 用于根据判断出的所述解剖学特征的种类, 从所述视网膜层中确定要检测的层, 并且检测所述断层图像中所确定的层的结构; 以及层结构修改部件, 用于修改下面的区域中所包括的层的结构, 其中, 所述区域具有由所述层结构检测部件所检测到的层的结构的所述解剖学特征。



1. 一种图像处理设备,其分析被检眼的视网膜层,所述图像处理设备包括:

特征提取部件,用于从根据所述视网膜层的断层图像所获得的投影图像和所述被检眼的眼底图像,提取表示所述被检眼中的解剖学特征的特征量;

判断部件,用于基于所述特征量来判断所述解剖学特征的种类;

层结构检测部件,用于根据判断出的所述解剖学特征的种类确定所述视网膜层中要检测的层,并且在所述断层图像中检测所确定的层的结构;以及

层结构修改部件,用于修改由所述层结构检测部件所检测到的层的结构中、包括在具有所述解剖学特征的区域中的层的结构。

2. 根据权利要求1所述的图像处理设备,其特征在于,当所述解剖学特征包括血管时,所述特征提取部件使用强调线状结构的滤波器提取所述血管的特征量,以及

所述层结构修改部件通过使用与所述区域邻接并与所述血管邻接的层的边界进行插值来限制搜索范围、并且在所述搜索范围内重新检测层结构,修改与所述血管邻接的层的结构。

3. 根据权利要求1或2所述的图像处理设备,其特征在于,当所述解剖学特征包括病变部时,所述特征提取部件基于像素值提取所述病变部的特征量,以及

所述层结构修改部件通过使用所检测到的层的与所述区域邻接的边界进行插值,修改包括在所述区域中的层的结构。

4. 根据权利要求1或2所述的图像处理设备,其特征在于,所述特征提取部件提取所述特征量,作为反映所述被检眼中存在所述解剖学特征的可能性的值,以及

所述层结构修改部件对包括在所述可能性不小于预定值的区域中的层的结构进行修改。

5. 根据权利要求1或2所述的图像处理设备,其特征在于,还包括层结构更新部件,所述层结构更新部件用于更新由所述层结构修改部件修改后的层的结构,

其中,所述层结构更新部件使用形成由所述层结构检测部件所检测到的层的检测点,指定使基于图像能和形状能中至少一个所计算出的能量值最小化的层边界,并且基于所指定的层边界来更新由所述层结构修改部件修改后的层的结构,其中,所述图像能基于将所述检测点夹在中间的层中的亮度的方差和所述检测点处的亮度梯度,所述形状能表示通过连接所述检测点所形成的层的形状的平滑度。

6. 一种图像处理设备,其分析被检眼的视网膜层,所述图像处理设备包括:

特征提取部件,用于从根据所述视网膜层的断层图像所获得的投影图像,提取表示所述被检眼中的解剖学特征的特征量;

层结构检测部件,用于从所述断层图像检测所述视网膜层中的层的结构;

信息提取部件,用于基于由所述层结构检测部件所检测到的层的结构,提取预定层之间的亮度信息和层的形状信息;

判断部件,用于基于所述特征量、所述亮度信息和所述形状信息,判断在所述视网膜层中是否存在病变部和所述病变部的种类;以及

层结构修改部件,用于根据所述判断部件的判断结果,修改由所述层结构检测部件所检测到的层的结构,

其中,当所述判断部件判断为存在所述病变部时,所述层结构修改部件修改由所述层

结构检测部件所检测到的层的一部分结构。

7. 根据权利要求 6 所述的图像处理设备,其特征在于,所述特征提取部件还从所述被检眼的眼底图像提取所述特征量,

当所述解剖学特征包括血管时,所述特征提取部件使用强调线状结构的滤波器提取所述血管的特征量,以及

当所述解剖学特征包括病变部时,所述特征提取部件基于像素值提取所述病变部的特征量。

8. 一种图像处理设备的控制方法,所述图像处理设备分析被检眼的视网膜层,所述控制方法包括以下步骤:

提取步骤,用于从根据所述视网膜层的多个断层图像所获得的投影图像和所述被检眼的眼底图像,提取表示所述被检眼中的解剖学特征的特征量;

判断步骤,用于基于所述特征量来判断所述解剖学特征的种类;

确定步骤,用于根据判断出的所述解剖学特征的种类确定所述视网膜层中要检测的层,并且在所述断层图像中检测所确定的层的结构;以及

修改步骤,用于修改所检测到的层的结构中、包括在具有所述解剖学特征的区域中的层的结构。

图像处理设备及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种图像处理设备及其控制方法和计算机程序。

[0002] 背景技术

[0003] 对于在生活方式病和失明原因之前出现的各种疾病的早期诊断,通常进行眼科检查。由于需要医学检查等来查找整个眼部的疾病,所以使用宽范围的眼部图像(以下称为眼底图像)的检查是不可或缺的。使用眼底照相机或 SLO(激光扫描检眼镜)拍摄眼底图像。另一方面,由于诸如 OCT(光学相干断层成像)等的用于眼部的断层图像拍摄设备允许三维观察视网膜层的内部状态,所以期待该类断层图像拍摄设备对疾病有效地给出更恰当的诊断。

[0004] 图 5A 是利用 OCT 所拍摄的视网膜的黄斑断层图像的模式图。在三维上获得利用 OCT 的眼部的断层图像。在图 5A 中,附图标记 $T_1 \sim T_n$ 表示黄斑部的二维(2D)横断面图像(B-扫描图像)。然后,附图标记 1 表示内界膜,附图标记 2 表示神经纤维层和其下面的层之间的边界(以下称为神经纤维层边界 2);并且附图标记 2' 表示神经纤维层。附图标记 3 表示内丛状层和其下面的层之间的边界(以下称为内丛状层边界 3),并且附图标记 4 表示外丛状层和其下面的层之间的边界(下面称为外丛状层边界 4)。附图标记 5 表示光感受器的内节和外节之间的接合部,并且附图标记 6 表示视网膜色素上皮边界。例如,当输入这类断层图像时,如果可以测量神经纤维层 2' (图 5A 中的 T_1) 的厚度,则可以定量诊断诸如青光眼等的疾病的发展程度和治疗之后的恢复程度。为了定量测量这些层的厚度,公开了一种用于根据断层图像使用计算机检测视网膜的各个层的边界、并且测量各个层的厚度的技术(参见日本特开 2008-073099 号公报)。

[0005] 另一方面,在 OCT 断层图像中,当物体强烈反射或吸收测量光时,在物体后方通常生成由信号的衰减或损失所导致的伪影。注意,该物体包括血管(血液)和白斑。与此相对,提出了这样一种技术,该技术从眼底的表面图像提取血管区域,将血管区域逆投影至 OCT 断层图像上,并且对逆投影区域附近的层边界进行插值,从而估计由血管所导致的伪影区域中的层边界(参见日本特开 2007-325831 号公报)。

[0006] 另一方面,希望使用 OCT 的检查来检测诸如青光眼和年龄相关性黄斑变性等的多种类型的眼科疾病。那么,由于断层图像中感兴趣的层根据是否有疾病及疾病的种类而不同,所以要求根据视网膜的状态来检测层。

发明内容

[0007] 对于日本特开 2008-073099 号和 2007-325831 号公报所述的方法,为应对多种类型的疾病的检测,操作者不得不预先估计疾病,并且不得不以适于该疾病的分析模式进行测量。当不能获得适当处理结果时,操作者不得不通过将分析模式改变成适于其它疾病的分析模式、并改变图像处理参数来进行再次测量,结果导致麻烦的处理。为此,要分析大量数据,用户负担极大。此外,上述日本特开 2008-073099 号公报所述方法没有讨论用于计算生成伪影的区域的层边界的任何方法。

[0008] 上述日本特开 2007-325831 号公报所述方法将逆投影至 OCT 断层图像上的所有区域作为伪影区域（紧挨在血管之下的区域）处理，并且在这些区域没有检测到任何断层图像的情况下对层边界进行插值来进行估计。为此，当在断层图像上的各逆投影区域上都没有发生信号衰减时，层边界结果变得不正确。另外，上述方法仅应对由血管引起的信号衰减，但是不能应对由诸如白斑和出血等病变部所引起的任何信号衰减。

[0009] 因此，本发明根据被检眼的视网膜的状态来选择要检测的层的种类，并且基于视网膜层的解剖学特征检测层，从而允许对层边界以及衰减区域的高精度检测。

[0010] 本发明实施例的一个方面涉及一种图像处理设备，所述图像处理设备分析被检眼的视网膜层，包括：特征提取部件，用于从根据所述视网膜层的断层图像所获得的投影图像和所述被检眼的眼底图像提取表示所述被检眼的解剖学特征的特征量；判断部件，用于基于所述特征量来判断所述解剖学特征的种类；层结构检测部件，用于根据判断出的所述解剖学特征的种类，从所述视网膜层中确定要检测的层，并且检测所述断层图像中所确定的层的结构；以及层结构修改部件，用于修改下面的区域中所包括的层的结构，其中，所述区域具有由所述层结构检测部件所检测到的层的结构的所述解剖学特征。

[0011] 本发明实施例的其它方面涉及一种图像处理设备，所述图像处理设备分析被检眼的视网膜层，包括：特征提取部件，用于从根据所述视网膜层的断层图像所获得的投影图像，提取表示所述被检眼中的解剖学特征的特征量；层结构检测部件，用于从所述断层图像检测所述视网膜层中的层的结构；信息提取部件，用于基于由所述层结构检测部件所检测到的层的结构，提取预定层之间的层的亮度信息和形状信息；判断部件，用于基于所述特征量、所述亮度信息和所述形状信息，判断在所述视网膜层中是否存在病变部和所述病变部的种类；以及层结构修改部件，用于根据所述判断部件的判断结果，修改由所述层结构检测部件所检测到的层的结构；其中，当所述判断部件判断为存在所述病变部时，所述层结构修改部件修改由所述层结构检测部件所检测到的层中的某些层的结构。

[0012] 根据本发明的其它方面，一种图像处理设备的控制方法，所述图像处理设备分析被检眼的视网膜层，所述控制方法包括以下步骤：提取步骤，用于从根据所述视网膜层的多个断层图像所获得的投影图像和所述被检眼的眼底图像，提取表示所述被检眼中的解剖学特征的特征量；判断步骤，用于基于所述特征量来判断所述解剖学特征的种类；确定步骤，用于根据判断出的所述解剖学特征的种类确定所述视网膜层中要检测的层，并且在所述断层图像中检测所确定的层的结构；以及修改步骤，用于修改所检测到的层的结构中、包括在具有所述解剖学特征的区域中的层的结构。

[0013] 根据本发明的其它方面，一种图像处理设备的控制方法，所述图像处理设备分析被检眼的视网膜层，所述控制方法包括以下步骤：提取步骤，用于从根据所述视网膜层的多个断层图像所获得的投影图像，提取表示所述被检眼中的解剖学特征的特征量；检测步骤，用于从所述断层图像检测所述视网膜层中的层的结构；提取步骤，用于基于所检测到的层的结构，提取预定层之间的亮度信息和层的形状信息；判断步骤，用于基于所述特征量、所述亮度信息和所述形状信息，判断在所述视网膜层中是否存在病变部和所述病变部的种类；以及修改步骤，用于根据所述判断结果，修改在所述检测步骤中所检测到的层的结构，其中，在所述修改步骤中，当判断为存在所述病变部时，修改在所述检测步骤中所检测到的层的一部分结构。

[0014] 通过以下（参考附图）对典型实施例的说明，本发明的其它特征将显而易见。

附图说明

[0015] 图 1 是示出根据实施例的图像处理系统的功能结构的例子框图；

[0016] 图 2 是示出根据实施例的图像处理单元 200 的功能结构的框图；

[0017] 图 3 是示出根据实施例的视网膜层结构分析处理序列的流程图；

[0018] 图 4A 和 4B 是示出层结构分析处理序列在正常状态时和异常状态时的处理的流程图；

[0019] 图 5A 和 5B 是示出根据实施例的断层图像和投影图像的例子示意图；

[0020] 图 6 是示出根据实施例为生成层结构强调图像所需的特征值和特征向量之间的关系图；

[0021] 图 7A ~ 7D 是用于说明根据实施例的多分辨率层结构强调图像的生成的图；

[0022] 图 8A 和 8B 是用于说明根据实施例的断层图像的特征和层结构强调图像的特征的图；

[0023] 图 9 是用于说明根据实施例的断层图像中的遮蔽区域的图；

[0024] 图 10A 和 10B 是用于说明根据实施例的断层图像的特征和遮蔽区域的图；

[0025] 图 11 是示出根据第二实施例的图像处理设备的功能结构的框图；

[0026] 图 12 是示出根据第二实施例的视网膜层结构分析处理序列的流程图；以及

[0027] 图 13 是示出根据实施例的图像处理设备的基本结构的框图。

具体实施方式

[0028] 下面将参考附图详细说明用于实现本发明的最佳模式。然而，本发明的范围不局限于所示例子。

[0029] 根据本发明实施例的一个方面，图像处理设备 10 获取被检眼的断层图像和眼底图像，并且根据断层图像生成投影图像以进行断层图像和眼底图像之间的配准。然后，设备 10 通过眼底图像和投影图像来检测为确定是否存在疾病及疾病种类所需的解剖学信息，基于该检测结果判断要测量的层，并且对预定层执行分析处理。注意，本实施例将说明出现黄斑部的断层图像。然而，要拍摄的部不局限于黄斑部，而且可以对视神经乳头应用相同处理。此外，处理可应用于同时出现黄斑部和视神经乳头的图像。另外，将说明对要获取的整个三维（3D）断层图像应用分析处理的情况。然而，在其它结构中，可以从 3D 断层图像选择感兴趣的二维（2D）断层图像（以下将 2D 断层图像称为横断面图像），并且可以对所选择的横断面图像应用处理。例如，可以对包括预先确定的眼底的特定部（例如中央凹）的横断面图像应用处理。在这种情况下，要检测的层的边界和正常结构、以及正常状态下的数据等是与该横断面有关的 2D 数据。

[0030] 图 1 中示出的图像处理设备 10 经由诸如 Ethernet[®] 等的局域网（LAN）40 与断层图像摄像设备 20、眼底图像拍摄设备 30 和数据服务器 50 连接以建立图像处理系统。注意，图像处理设备 10 可以经由诸如光纤、USB 或 IEEE1394 等的接口与这些设备连接。另外，图像处理设备 10 可以经由诸如因特网等的外部网络与这些设备连接。

[0031] 断层图像摄像设备 20 获得眼部的断层图像，并且例如包括时域 OCT 或傅立叶域

OCT。眼底图像拍摄设备 30 拍摄眼部的眼底图像,并且包括例如眼底照相机或 SLO。数据服务器 50 保持被检眼的断层图像和图像特征量等。数据服务器 50 存储从断层图像拍摄设备 20 所输出的被检眼的断层图像、以及从图像处理设备 10 所输出的分析结果。另外,数据服务器 50 响应于来自图像处理设备 10 的请求,将与被检眼相关联的先前的数据发送给图像处理设备 10。

[0032] 下面将说明构成图像处理设备 10 的结构各个功能块。图像处理单元 200 通过从眼底图像检测病变部和血管的特征量来对眼底进行疾病判断,并且根据该判断结果执行用于分析断层图像的预定层的处理。ETBE(被检眼)信息获取单元 210 从外部获取为识别被检眼所使用的信息。图像获取单元 220 包括断层图像获取单元 221 和眼底图像获取单元 222。图像获取单元 220 获取从断层图像拍摄设备 20 所发送的断层图像和从眼底图像拍摄设备 30 所发送的眼底图像。指示获取单元 230 获取操作者所输入的处理指示。存储单元 240 临时保持由 ETBE 信息获取单元 210 所获取的与被检眼相关联的信息、以及由图像获取单元 220 所获取的被检眼的断层图像和眼底图像。显示单元 270 将由图像获取单元 220 所获取的断层图像和图像处理单元 200 对断层图像的处理结果显示在监视器上。结果输出单元 280 将检查日期和时间、识别被检眼所使用的信息、被检眼的断层图像、以及由图像处理单元 200 所获得的分析结果作为要存储的信息而相互关联,并且将该信息发送给数据服务器 50。

[0033] 下面将参考图 2 说明构成图像处理单元 200 的各个功能块。投影图像生成单元 251 通过在深度方向上对断层图像进行积分生成投影图像,以进行眼底图像和断层图像之间的配准。区域指定单元 252 基于特征提取单元 257 的提取结果,指定断层图像中病变部和血管的区域。层结构强调单元 253 基于表示视网膜包括层结构的解剖学特征,根据断层图像来强调视网膜的层结构。层结构检测单元 254 根据断层图像检测预定层,以对视网膜层的厚度和体积等定量。层结构修改单元 255 在断层图像的区域中例如发生信号亮度衰减的位置处,修改由层结构检测单元 254 检测到的层的检测结果。定量单元 256 基于层结构检测单元 254 的结果,计算层厚度、面积和体积。特征提取单元 257 根据由投影图像生成单元 251 所生成的投影图像和由眼底图像拍摄设备 30 所拍摄的眼底图像,检测血管和病变部。病变部包括白斑、脉络膜小疣和出血。配准单元 258 基于由特征提取单元 257 所提取的血管特征和特征部,进行投影图像和眼底图像之间的配准。第一判断单元 259 基于由特征提取单元 257 所提取的特征,判断要由层结构检测单元 254 检测的层的种类。注意,后面将详细说明要由各个功能块执行的处理的详细内容。

[0034] 下面将参考图 3 中示出的流程图说明图像处理设备 10 的处理序列。该处理序列获取被检眼的断层图像和眼底图像,并且根据断层图像生成投影图像以进行断层图像和眼底图像之间的配准。然后,该处理序列从眼底图像和投影图像检测为了判断是否存在疾病和疾病的种类所需的解剖学信息,基于该判断结果确定要测量的层,并且对预定层执行分析处理。

[0035] 在步骤 S301,ETBE 信息获取单元 210 从外部获取被检者识别号码作为识别被检眼所使用的信息。单元 210 基于被检者识别号码获取由数据服务器 50 所保持的与被检眼相关联的信息。与被检眼相关联的信息包括例如患者的姓名、年龄、性别、以及作为检查对象的右眼或左眼。此外,当作为其它检查信息的视力、眼轴长度和眼压等的测量数据存在时,

单元 210 可以获取这些测量数据。然后,单元 210 将所获取的信息发送给存储单元 240。

[0036] 在步骤 S302,断层图像获取单元 221 获取从断层图像摄像设备 20 所发送的断层图像,并且眼底图像获取单元 222 获取从眼底图像拍摄设备 30 所发送的眼底图像。这些单元 221 和 222 将所获取的信息发送给存储单元 240。在假定由图像获取单元 220 所获取的断层图像和眼底图像是由 ETBE 信息获取单元 210 所识别的被检眼的断层图像和眼底图像的前提下,给出下面的说明。另外,假定断层图像包括与断层图像摄像相关联的各种参数作为信息,并且眼底图像包括与眼底图像的拍摄相关联的各种参数作为信息。

[0037] 在步骤 S303,投影图像生成单元 251 通过在深度方向上对各个横断面图像(例如,B-扫描图像)进行积分生成投影图像,以进行眼底图像和断层图像之间的配准。下面将参考图 5A 和 5B 说明投影图像生成单元 251 的处理。图 5A 和 5B 示出断层图像和投影图像的例子。图 5A 示出横断面图像 $T_1 \sim T_n$,并且图 5B 示出基于横断面图像 $T_1 \sim T_n$ 所生成的投影图像 P。深度方向与图 5A 中的 z 方向一致,并且在深度方向上对图像进行积分是用于对图 5A 的 z 方向上各个深度位置处的光强度(亮度值)求和的处理。可以利用通过将各个深度位置处的亮度简单相加所获得的值或者通过将该和除以加数的数量所获得的平均值来定义投影图像 P。为获得投影图像 P,不需要将深度方向上的所有像素的亮度相加,而是可以仅将任意范围内的像素的亮度相加。例如,可以预先检测整个视网膜层,并且可以仅将视网膜层中的亮度相加。此外,可以仅将视网膜层中的任意层中的亮度相加。投影图像生成单元 251 通过执行用于在深度方向上对由断层图像摄像设备 20 所拍摄的横断面图像 $T_1 \sim T_n$ 进行积分的处理,生成投影图像 P。图 5B 中的投影图像 P 表现了越大的积分值表示越高的亮度,并且越小的积分值表示越低的亮度。图 5B 中的投影图像 P 中的曲线 V 表示血管,并且该图像中心的圆圈 M 表示黄斑部。断层图像摄像设备 20 通过使用光接收元件接收由低相干光源所发射的光的反射光,获取眼部的横断面图像 $T_1 \sim T_n$ 。在血管存在的位置处,比血管更深的位置处的光的反射光亮度趋于变弱,并且通过在 z 方向上对它们进行积分所获得的值小于没有血管存在的位置处的值。为此,通过生成投影图像 P,可以获得在血管和其它部之间具有对比度的图像。

[0038] 在步骤 S304,特征提取单元 257 从由投影图像生成单元 251 所生成的投影图像和由眼底图像拍摄设备 30 所拍摄的眼底图像提取表示血管和病变部的特征量。病变部包括白斑、脉络膜小疣和出血。在 OCT 断层图像中,在诸如这些血管和病变部等的吸收物质后方,通常生成由信号的衰减或损失所导致的伪影。为此,从眼底图像和投影图像提取良好表示它们的特征量,并且在确定层结构时,使用这些区域作为遮蔽区域。此外,在下一步骤 S305 中的眼底图像和投影图像之间的配准时,还使用这些特征量作为特征。由于血管具有细线结构,所以使用强调线状结构的滤波器来提取血管。作为强调线状结构的滤波器,使用如下的滤波器,其中,该滤波器计算假定为结构元素的线段上的图像浓度值的平均值与围绕该结构元素的局部区域中的平均值之间的差。然而,本发明不局限于此,并且可以使用诸如 Sobel 滤波器等的差分滤波器。可选地,可以针对浓度值图像的各个像素计算 Hessian 矩阵的特征值,并且可以基于作为结果所获得的两个特征值的组合提取线状区域。此外,可以进行单纯具有线段作为结构元素的顶帽(top hat)运算。

[0039] 作为图像特征,作为病变部的白斑区域局部存在于眼底图像中,并且与周围区域相比具有更高的亮度。因此,可以通过关注这些图像特征来实现白斑提取。可以使用各种

提取方法。例如,可以使用对眼底图像的 R、G 和 B 成分中的一个应用顶帽运算的方法。顶帽运算计算原始图像与通过向浓度图像应用形态学运算所获得的输出图像之间的各个像素的浓度值差。在应用顶帽运算之后的图像中,由于白斑中所包括的像素具有比其它像素更高的信号,所以可以通过对该图像应用阈值处理来提取白斑区域。

[0040] 利用上述处理,可以提取良好表示白斑区域的特征量。类似地,可以作为解剖学特征量提取脉络膜小疣和出血等。作为从眼底图像所获得的解剖学特征,脉络膜小疣具有白色块状图像特征。作为出血区域的图像特征,与非出血区域相比,出血区域在各 R、G 和 B 成分中具有较低的浓度值,并且与血管部的浓度值相比,严重出血区域具有相当低的浓度值。这样,可以在关注投影图像的像素值的同时提取诸如白斑、脉络膜小疣和出血等的病变部。

[0041] 表示这些血管和病变部的特征量的提取方法不局限于上述方法。另外,该方法不必仅局限于一个方法,并且可以组合多个方法。对于病变部,仅需要从投影图像或眼底图像提取病变部,并且可以通过组合这两个提取结果来指定断层图像中的病变位置。

[0042] 注意,除血管和病变部以外,特征提取单元 257 还可以提取黄斑部和视神经乳头等。配准单元 258 可以使用这些黄斑部和视神经乳头位置作为在投影图像和眼底图像之间配准时的特征量,或者可以使用黄斑部和视神经乳头位置作为特征量来减少病变部的检测错误。当不能从眼底图像提取层结构检测中所使用的有效特征量(血管和病变部)时,在跳过下一步骤 S305 的处理的同时执行步骤 S306 中的处理。

[0043] 在步骤 S305,配准单元 258 进行投影图像和眼底图像之间的配准。当将眼底图像定义为基准图像时,可以通过计算投影图像的比例尺(S_x, S_y)、位置坐标(x, y)和转动(rot)参数,实现投影图像和眼底图像之间的配准。为了配准图像的位置,提取具有解剖学特征的区域。作为代表性的解剖学特征之一,本发明关注血管。使用分别从投影图像和眼底图像所提取的血管,配准图像。在进行配准时,预先定义表示两个图像之间的相似性的评价价值,并且将图像变形以获得最佳评价价值。作为评价价值,可以使用表示通过上述处理所获得的投影图像血管区域和眼底图像血管区域之间的重叠程度的值和关注诸如血管的分支部等的具有特征几何形状的区域时相应标志之间的距离等。在本实施例中,使用血管作为具有解剖学特征的区域。可选地,可以使用诸如视神经乳头区域等的其它解剖学特征、或者由疾病所导致的白斑或出血区域。此外,代替仅关注诸如血管等的解剖学特征,可以使用根据整个图像所计算出的评价价值,例如,亮度的均方误差、相关系数或相互信息量。

[0044] 在步骤 S306,区域指定单元 252 将由特征提取单元 257 所提取的血管和病变部逆投影至 OCT 断层图像。结果,可以将从眼底图像和投影图像所获得的血管和病变部作为遮蔽区域设置在断层图像上。第一判断单元 259 在步骤 S307 使用由特征提取单元 257 所提取的特征量,判断是否检测到了病变部、以及所检测到的病变部的种类,并且选择通过层结构检测单元 254 要检测的层的种类。为了判断是否存在病变部及其种类,使用诸如支持向量机等识别器和基于例如 AdaBoost 构建的识别器集合。例如,当要提取白斑区域时,使用可以强调下面的区域的各种图像滤波器的输出结果作为特征量,其中,在该区域中,眼底图像的 R、G 和 B 成分的浓度值或者 R、G 和 B 成分的亮度对比度高。然后,使用识别器或者其集合判断各像素是否属于白斑。此外,使被判断为属于白斑的所有像素经过聚类以再次识别各簇是否属于白斑区域。此时,使用各簇中的亮度的平均值或方差、或者各簇内部和外部的区域之间的亮度对比度作为特征量。

[0045] 当作为第一判断单元 259 的判断结果没有检测到病变部时,层结构检测单元 254 检测内界膜 1、神经纤维层边界 2、内丛状层边界 3、外丛状层边界 4、光感受器的内节和外节之间的接合部 5、以及视网膜色素上皮边界 6。当检测到了病变部时,单元 254 检测内界膜 1 和视网膜色素上皮边界 6。此外,当作为病变部检测到脉络膜小疣时,由于视网膜发生年龄相关性黄斑变性,所以视网膜色素上皮边界 6 具有凹凸形状。为此,与视网膜色素上皮边界 6 的检测同时,估计视网膜色素上皮边界 6 的正常结构。如果第一判断单元 259 判断为眼底的状态正常,则处理进入步骤 S308;如果判断为眼底的状态异常,则处理进入步骤 S309。

[0046] 在步骤 S308,执行在视网膜的状态正常时的分析处理。后面将参考图 4A 中示出的流程图说明该步骤中的处理。在步骤 S309,执行在视网膜的状态异常时的分析处理。后面将参考图 4B 中示出的流程图说明该步骤中的处理。在步骤 S310,指示获取单元 230 从外部获取关于是否将与被检眼相关联的当前处理的结果存储在数据服务器 50 中的指示。操作者通过使用用户界面(未示出)来输入该指示。如果操作者指示存储该结果,则处理进入步骤 S311;否则,处理跳至步骤 S312。

[0047] 在步骤 S311,结果输出单元 280 将检查的日期和时间、识别被检眼所使用的信息、被检眼的断层图像和眼底图像、以及由图像处理单元 200 所获得的分析结果相互关联作为要存储的信息,并且将该信息发送给数据服务器 50。在步骤 S312,指示获取单元 230 从外部获取关于是否结束图像处理设备 10 的断层图像分析处理的指示。操作者使用用户界面(未示出)输入该指示。如果单元 230 获取用于结束该处理的指示,则图像处理设备 10 结束其处理。另一方面,如果单元 230 获取用于继续该处理的指示,则处理返回到步骤 S301 以执行针对下一被检眼的处理(或者针对当前被检眼的再处理)。如上所述,执行图像处理设备 10 的处理。

[0048] 下面将参考图 4A 详细说明步骤 S308 的处理内容。在步骤 S410,层结构强调单元 253 根据断层图像强调视网膜的层结构。为了强调视网膜的层结构,使用基于 Hessian 矩阵的特征值的层结构强调滤波器。该滤波器可以基于 Hessian 矩阵的三个特征值($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$)之间的关系强调 3D 浓度分布的二次局部结构。如下给出 Hessian 矩阵:

$$[0049] \quad H = \begin{pmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{pmatrix} \dots (1)$$

[0050] Hessian 矩阵是由多元函数的全部二阶偏微分所形成的方矩阵。I 是图像的浓度值。图 6 示出 Hessian 矩阵的特征值和特征向量(e1,e2,e3)之间的关系。如下描述 Hessian 矩阵的特征值之间的关系:

$$[0051] \quad \lambda_3 \leq \lambda_2 \leq \lambda_1 \dots (2)$$

[0052] 如下描述用于强调层结构所需的特征值的条件公式:

$$[0053] \quad \lambda_3 \ll \lambda_2 = \lambda_1 = 0 \dots (3)$$

[0054] 通过根据利用这些公式所计算出的三个特征值进行计算,可以强调视网膜的层结构:

[0055]

$$S_{sheet}\{f\} = \begin{cases} |\lambda_3| \cdot \omega(\lambda_2; \lambda_3) \cdot \omega(\lambda_1; \lambda_3) & \lambda_3 < 0 \\ 0 & \text{其它情况} \end{cases} \quad \dots(4)$$

[0056] 其中, $\omega(\lambda_s; \lambda_t)$ 是加权函数, 如下给出该加权函数:

[0057]

$$\omega(\lambda_s; \lambda_t) = \begin{cases} (1 + \frac{\lambda_s}{|\lambda_t|})^\gamma & \lambda_t \leq \lambda_s \leq 0 \\ (1 - \alpha \frac{\lambda_s}{\lambda_t})^\gamma & \frac{|\lambda_t|}{\alpha} > \lambda_s > 0 \\ 0 & \text{其它情况} \end{cases} \quad \dots(5)$$

[0058] 其中, γ 和 α 是权重。

[0059] 此外, 为了应对具有各种厚度的视网膜层, 可以使用多分辨率层结构强调滤波器。为此, 仅需要分析针对利用多个分辨率 σ_f 的 Gaussian 函数 $G(x; \sigma_f)$ 平滑后的图像的 Hessian 矩阵的特征值。注意, x 是 (x, y, z) 。图 7A 和 7B 示出具有不同分辨率 σ_f 的 Gaussian 函数, 并且图 7C 和 7D 示出通过这些函数强调的层的厚度的图像。图 7C 示出通过图 7A 中示出的 Gaussian 函数所强调的层的厚度, 并且图 7D 示出通过图 7B 中示出的 Gaussian 函数所强调的层的厚度。图 7A 中的分辨率是 σ_a , 图 7B 中的分辨率是 σ_b , 并且这两个分辨率之间的关系如下:

$$[0060] \quad \sigma_a < \sigma_b \dots (6)$$

[0061] 如下描述通过 Gaussian 函数平滑后的图像的公式:

$$[0062] \quad I_{xx} = \frac{\partial^2}{\partial x^2} G(\mathbf{x}; \sigma_f) * I(\mathbf{x}) \quad \dots(7)$$

[0063] 公式 (7) 描述 Hessian 矩阵中的一个元素, 并且可以以与公式 (7) 相同的方式计算出其它元素。在公式 (7) 中设置多个分辨率 σ_f , 并且以各个分辨率求解公式 (1) 和 (4), 从而强调具有与各个分辨率相对应的厚度的视网膜层。如下组合多个分辨率 σ_f 的结果:

$$[0064] \quad S_{sheet}(\mathbf{x}) = \max_i \{ \sigma_i^2 S_{sheet}(\mathbf{x}; \sigma_i) \} \quad \dots(8)$$

[0065] 于是, 一个输出可以应对具有各种厚度的视网膜层。在公式 (8) 中, 乘以 σ_i^2 的原因是为了实现标准化处理。i 从 1 到 n, 并且 i 对应于所设置的分辨率的数量 n。

[0066] 本实施例说明了用于使用公式 (8) 组合多个分辨率 σ_f 的处理。然而, 不一定总要组合分辨率。例如, 可以分别保持以适于各个层的厚度的分辨率所处理的结果, 并且可以针对各个层选择性地使用该结果。例如当断层图像具有图像大小 256*240*256 时, 计算内界膜 1 所需的分辨率例如为 3 以上, 并且, 计算内丛状层 3 所需的分辨率例如是 1 ~ 2。对于内界膜 1, 可以使用利用低分辨率强调的图像。然而, 使用通过利用高分辨率强调整个视网膜层所获得的图像, 可以降低从视网膜剥离的玻璃体皮层的检测错误的概率。

[0067] 在上述说明中, 使用公式 (4) 和 (5) 基于 Hessian 矩阵的特征值强调视网膜的层

结构。然而,本发明不局限于公式 (4) 和 (5),只要使用特征值之间的关系强调层结构即可。图 8A 是用于说明断层图像的特征的图。在图 8A 中,附图标记 1 表示内界膜,附图标记 2 表示神经纤维层边界,附图标记 3 表示内丛状层边界,附图标记 4 表示外丛状层边界,附图标记 5 表示光感受器的内节和外节之间的接合部,附图标记 6 表示视网膜色素上皮边界,附图标记 7 表示血管区域,以及附图标记 7' 表示血管下方的区域。图 8A 的左图示出横断面图像 T_1 ,并且右图示出左图中血管存在位置处沿 A- 扫描的图像的剖面图。也就是说,右图示出在以“A- 扫描”所表示的直线上坐标和亮度之间的关系。图 8B 示出通过向图 8A 中示出的断层图像应用层结构强调滤波器所获得的例子。图 8B 的左图示出横断面图像 T_1 的层结构强调图像,并且右 图示出左图中血管存在位置处沿 A- 扫描的滤波器输出的剖面图。使用层结构强调滤波器,即使在信号由于血管而衰减时,除非信号成分丢失,否则也可以强调层结构。此外,可以降低除层结构以外的噪声成分。

[0068] 在步骤 S420,层结构检测单元 254 检测内界膜 1、神经纤维层边界 2、光感受器的内节和外节之间的接合部 5、以及视网膜色素上皮边界 6。层结构检测单元 254 使用由层结构强调单元 253 所生成的层结构强调图像的特征和通过对断层图像应用平滑处理和梯度检测处理所获得的图像的梯度特征,检测各个层。对于内界膜 1,从玻璃体侧开始在眼底深度方向上搜索层结构强调滤波器的峰值,并且将等于或大于阈值的第一个峰值位置检测为内界膜 1 和神经纤维层边界 2 的初始值。从该初始值开始,向玻璃体侧搜索梯度特征,并且将梯度峰值位置检测为内界膜 1。同样,对于神经纤维层边界 2,在眼底的深度方向上,从该初始值开始搜索梯度特征,并且将梯度峰值位置检测为神经纤维层边界 2。对于视网膜色素上皮边界 6,也在眼底的深度方向上搜索层结构强调滤波器的峰值,并且将等于或大于阈值的最后一个峰值位置检测为视网膜色素上皮边界 6 的初始值。在眼底的深度方向上,从该初始值开始搜索梯度特征,并且将梯度峰值位置检测为视网膜色素上皮边界 6。同样,对于光感受器的内节和外节之间的接合部 5,从该初始值开始向玻璃体侧搜索梯度特征,并且将梯度峰值位置检测为光感受器的内节和外节之间的接合部 5。

[0069] 接着检测外丛状层边界 4。对于外丛状层边界 4,在神经纤维层边界 2 与光感受器的内节和外节之间的接合部 5 之间,将满足下面的公式的层结构强调滤波器的输出值检测为候选点。

$$[0070] \quad \frac{S_{sheet}(x)}{\max S_{sheet_NFL_ISOS_A}} \geq Th \quad \dots(9)$$

[0071] 在这些候选点中,将在深度方向上最靠近眼底位置的点检测为外丛状层边界 4。在公式 (9) 中, Th 是范围为 $0 \sim 1$ 的阈值。在本实施例中, $Th = 0.7$ 。 $S_{sheet}(x)$ 是像素 (x, y, z) 处的层结构强调滤波器的输出值。 $\max S_{sheet_NFL_ISOS_A}$ 是在各 A- 扫描处神经纤维层边界 2 与光感受器的内节和外节之间的接合部 5 之间的层结构强调滤波器的最大输出值。外丛状层边界 4 的层结构强调滤波器的输出值倾向于比内丛状层边界 3 的层结构强调滤波器的输出值大,但是这些输出值差异很小。因此,使用表示外丛状层边界 4 位于内丛状层边界 3 的深度方向侧的解剖学特征作为空间位置信息,可以减少检测错误。对于内丛状层边界 3,搜索位于神经纤维层边界 2 和外丛状层边界 4 之间的层结构强调滤波器的峰值,并且将该位

置检测为初始值。然后,在眼底的深度方向上,从该初始值开始搜索梯度特征,并且将梯度峰值位置检测为内丛状层边界 3。

[0072] 通过例如多项式函数或 M 估计,使在各个层中所检测到的点群经过异常值去除处理。可选地,执行用于计算邻接的检测到的点之间的角度、并且去除具有等于或大于阈值的角度的点的异常值去除处理。由于对去除的点执行了插值处理,所以检测到平滑的层。已说明了使用层结构强调滤波器的输出结果的例子。然而,不一定必须使用层结构强调滤波器的结果,并且可以通过例如阈值处理、梯度检测或区域扩展方法来检测内界膜 1 和神经纤维层边界 2 等。已说明了用于在正常眼的情况中检测内界膜 1、神经纤维层边界 2、内丛状层边界 3、外丛状层边界 4、光感受器的内节和外节之间的接合部 5、以及视网膜色素上皮边界 6 的处理。然而,除上述层以外,还可以检测神经节细胞层与内丛状层和外界膜等之间的边界。可选地,可以仅检测诸如内界膜 1、神经纤维层边界 2 和视网膜色素上皮边界 6 等为了分析层厚度和面积所需的层。

[0073] 在步骤 S430,层结构修改单元 255 使用特征提取单元 257 的血管检测结果,修改层结构检测单元 254 的层检测结果。图 9 示出对图 8A 中的血管位置进行遮蔽的图像。参考图 9,附图标记 9 表示遮蔽区域,附图标记 9' 表示以虚线所表示的遮蔽区域中的搜索范围。通过将由特征提取单元 257 从投影图像和眼底图像中的一者或两者所检测到的一个或多个血管位置逆投影至断层图像上,获得遮蔽区域 9。层结构修改单元 255 修改遮蔽区域 9 中的神经纤维层边界 2 的检测结果。如果存在血管,则在神经纤维层和血管相互重叠的情况下检测到神经纤维层边界 2。为此,在该区域中,当通过以层结构强调滤波器的峰值作为初始值在眼底的深度方向上搜索梯度特征而再次检测神经纤维层边界 2 时,限制搜索范围以使得不会错误地检测到血管。通过从与遮蔽区域 9 相邻的神经纤维层边界 2 的位置开始执行插值处理,限制该搜索范围。该插值处理可以使用例如线性插值、样条插值或使用 n 次曲线的非线性插值。在这种情况下,希望通过从利用插值所计算出的位置起在深度方向上具有约数个像素的余量的区域来限制该搜索范围。通过在该搜索范围内进行边界检测,可以在不会错误地检测到血管的情况下检测神经纤维层边界 2。在该区域中,不仅限制搜索范围,而且还可以改变梯度检测的阈值和梯度检测本身的算法。可选地,层结构修改单元 255 可以修改该遮蔽区域中除内界膜 1 以外的检测结果。例如,可以执行用于去除遮蔽区域中的点、并且利用线性插值或非线性插值对各层进行插值的处理。

[0074] 在步骤 S440,定量单元 256 基于由层结构检测单元 254 所检测到的层边界,计算层的厚度、面积和体积。注意,可以通过计算 x-z 平面上各个坐标点处的内界膜 1 和神经纤维层边界 2 的 z 坐标之间的差,计算层(神经纤维层 2')的厚度 T1。另外,通过针对各个 y 坐标将 x 轴方向上各个坐标点处的层厚度相加,可以计算各横断面图像中的神经纤维层 2' 的面积。此外,可以通过在 y 轴方向上相加所计算出的面积,计算神经纤维层 2' 的体积。在这种情况下,举例说明了神经纤维层 2',并且可以类似地计算其它层和整个视网膜层的厚度、面积和体积。

[0075] 此外,当先前定量的层厚度、面积和体积存在时,可以进行与先前定量的数据的比较。下面将举例说明该情况下与先前定量的数据的比较方法。最初,配准前一断层图像和当前断层图像。断层图像的配准可以使用诸如作为非线性变换的刚性仿射变换或 FFD(自由形式变换)等的已知方法。如果已确定了与先前拍摄的断层图像的位置对应关系,则可

以比较任意断面的层厚度和面积等、以及任意区域的体积等。在上述说明中,在与先前图像的配准之后比较数据。然而,当断层图像摄像设备 20 包括跟踪功能,并且在断层图像摄像时可以拍摄与先前位置相同的位置处的图像的情况下,不需要配准。此外,可以简单进行 B-扫描图像的片编号或 3D 图像之间的比较。假定定量单元 256 仅需要计算上述数值数据中的至少一个,并且可以任意设置要定量的数据。如果未能计算出任何数据,则可以在下一步骤 S450 通过显示单元 270 显示定量失败消息。

[0076] 在步骤 S450,显示单元 270 与断层图像的层相关联地显示断层图像和眼底图像、对断层图像的层和层边界的检测结果、以及定量结果。如果存在先前的数据,则显示单元 270 可以以与先前数据比较的方式显示当前数据。不是必须显示在步骤 S420 ~ S440 所计算出的所有层和定量结果。并且可以将结果在内部保持。下面将参考图 4B 说明视网膜的状态异常时在步骤 S309 的处理中所执行的处理序列。由于步骤 S415 与步骤 S410 相同,所以不再重复对其的说明。图 10A 示出在将白斑检测为病变部时的情况。图 10A 是用于说明存在白斑时的断层图像的特征的图。在图 10A 中,附图标记 1 表示内界膜,附图标记 2 表示神经纤维层边界,附图标记 6 表示视网膜色素上皮边界,附图标记 8 表示白斑区域,以及附图标记 8' 表示白斑下方的区域。图 10A 的左图示出横断面图像 T_1 ,并且右图示出左图中的白斑所处位置处沿 A-扫描的图像的剖面图。也就是说,右图示出以“A-扫描”所表示的直线上的坐标和亮度之间的关系。

[0077] 在步骤 S425,层结构检测单元 254 计算内界膜 1 和视网膜色素上皮边界 6。由于层检测方法与步骤 S420 中的相同,所以不再重复对其的说明。注意,在存在眼底疾病时要检测的层不局限于内界膜 1 和视网膜色素上皮边界 6,而且可以根据用户指示来检测任意层。

[0078] 在步骤 S435,层结构修改单元 255 使用特征提取单元 257 对血管和白斑(病变部)的检测结果,修改层结构检测单元 254 的层检测结果。图 10B 示出对图 10A 中的白斑和血管部进行遮蔽所获得的图像。在图 10B 中,附图标记 9 表示遮蔽区域。通过将由特征提取单元 257 从断层图像和眼底图像中的一者或两者所检测到的白斑和血管部逆投影至断层图像上获得该遮蔽。层结构修改单元 255 修改该遮蔽区域中的视网膜色素上皮边界 6 的检测结果。例如,单元 255 去除病变区域中的遮蔽区域中的点,然后使用其余点群或曲线对视网膜色素上皮边界 6 进行插值。因此,即使在由于诸如白斑等的疾病而损失视网膜色素上皮边界 6 的信号时,也可以在不会错误地检测到白斑的情况下检测到视网膜色素上皮边界 6。

[0079] 在上述说明中,对于白斑和血管使用单个遮蔽区域。然而,希望向用于白斑、脉络膜小疣、出血和血管等的遮蔽分配标签以识别它们各自的遮蔽区域。例如,确保用于遮蔽的标签区域具有与投影图像相同的图像大小,并且为每像素 8 位。向各个位预先分配从眼底图像和断层图像所检测到的病变部和血管。因此,即使在检测到病变部和血管在相同坐标位置处相互重叠时,也可以向相同坐标位置分配多个标签。可以根据要识别的种类设置位大小。

[0080] 在步骤 S445,定量单元 256 对由特征提取单元 257 所提取的病变特征进行定量。例如,如图 10A 所示,当视网膜上存在白斑时,单元 256 计算所检测到的白斑的面积、体积和存在位置、以及白斑的数量等。单元 256 根据眼底图像或投影图像计算白斑面积,并且根据

断层图像计算白斑体积。此外,当可以获得先前定量的白斑面积、体积和存在位置、以及白斑的数量时,可以进行与先前定量的数据的比较。定量单元 256 仅需要计算上述数值数据以及各层的厚度、面积和体积中的至少一个,并且可以任意设置要定量的数据。如果未能计算任何数据,则在接着的步骤 S455 可以通过显示单元 270 显示定量失败消息。

[0081] 在步骤 S455,显示单元 270 显示断层图像和眼底图像、断层图像的层和层边界的检测结果、病变部的检测结果、与断层图像的层相关联的定量结果、以及病变部的定量结果。如果存在先前的数据,则显示单元 270 可以以与先前数据比较的方式显示当前数据。

[0082] 根据上述结构,当基于从眼底图像所检测到的病变部和特征指定要提取的视网膜层时,可以自动进行适于输入图像的层的分割,从而提供降低用户在分割视网膜层时的负荷的效果。由于考虑视网膜层的厚度来强调层,并且考虑从眼底图像或投影图像所检测到的血管和病变部来分割视网膜层,所以可以独立于疾病来精确提取层边界。

[0083] 下面将说明代替第一判断单元 259、向图像处理单元 200 添加第二判断单元 260 的情况。通常,难以根据眼底图像和投影图像来判断诸如年龄相关性黄斑变性和水肿等的疾病。因此,添加第二判断单元 260 以除从眼底图像和投影图像所获得的图像特征以外、还使用视网膜断层图像的形状特征。然后,可以鲁棒地选择要呈现给用户的层的种类。

[0084] 图 11 是示出图像处理设备 11 的功能结构的框图。由于除图像处理单元 201 以外,图 11 中示出的功能结构与图 1 中示出的相同,所以没有给出对其的说明。代替图 2 中示出的第一判断单元 259,图像处理单元 201 包括第二判断单元 260。第二判断单元 260 基于由特征提取单元 257 所提取的特征量和由层结构检测单元 254 所检测到的层结构的检测结果进行判断,并且将判断结果输出给层结构修改单元 255。

[0085] 下面将参考图 12 中示出的流程图说明图像处理设备 11 的处理序列。注意,步骤 S1201 ~ S1206 以及步骤 S1214 ~ S1216 的处理与图 3 中的步骤 S301 ~ S306 以及步骤 S310 ~ S312 的处理相同。另外,步骤 S1207、S1212 和 S1213 与图 4A 中的步骤 S410、S440 和 S450 相同。因此,不再重复对这些步骤的说明。

[0086] 在步骤 S1208,层结构检测单元 254 计算内界膜 1、神经纤维层边界 2 和视网膜色素上皮边界 6。由于层检测方法步骤 S420 中的相同,所以不再重复对其的说明。注意,当在步骤 S1204 从眼底图像检测到病变部时,可以通过根据遮蔽区域附近的层的检测位置进行插值,在断层图像的病变部的遮蔽区域中计算层。然后,层结构检测单元 254 计算内丛状层边界 3、外丛状层边界 4、以及光感受器的内节和外节之间的接合部 5。然而,由于因疾病的影响而未检测到这些层,所以在断层图像的病变部的遮蔽区域中不检测这些层,而是期望预先通过插值处理来计算这些层。

[0087] 在步骤 S1209,特征提取单元 257 从断层图像提取视网膜层的图像特征和形状特征。首先说明断层图像的图像特征。在这种情况下,特征提取单元 257 使用在步骤 S1208 所检测到的内界膜 1 和视网膜色素上皮边界 6 的位置信息。也就是说,特征提取单元 257 将用于提取图像特征的范围限制在内界膜 1 和视网膜色素上皮层 6 之间。视网膜层的断层图像对于各个层具有不同的亮度。在正常眼的情况下,神经纤维层 2'、以及光感受器的内节和外节之间的接合部 5 与视网膜色素上皮边界 6 之间的光感受器层具有高的亮度。当视网膜层内存在白斑时,白斑的区域具有高的亮度,并且光感受器的内节和外节之间的接合部 5 与视网膜色素上皮边界 6 之间的光感受器层具有低的亮度。当在视网膜层出血扩散时,作

为特征,光感受器的内节和外节之间的接合部 5 与视网膜色素上皮边界 6 之间的光感受器层具有低的亮度。作为图像特征,提取诸如直方图等的一次统计量、诸如浓度共生矩阵的二次统计量和 Fourier 特征等。此外,在内界膜 1 和视网膜色素上皮边界 6 之间,提取沿 A-扫描的亮度的剖面图特征。图 8A 和 10A 的右图示出亮度的剖面图。除这些图像特征以外,可以使用图像的梯度特征、以及利用 Hessian 矩阵的层结构强调图像的特征量。

[0088] 下面将说明视网膜层的形状特征。由于在视网膜层的内部出血时视网膜中积聚了血,所以作为特征,内界膜 1 具有向上凸起形状。当视网膜色素上皮 6 发生年龄相关性黄斑变性时,作为特征,由于视网膜色素上皮 6 因从其下方的部分所形成的新生血管而发生变形,所以具有凹凸形状。为此,可以使用层的形状特征作为识别病变部所使用的一个特征。可以通过计算单个层中的相邻检测点的曲率来提取形状特征。可以在限制或不限制到从眼底图像和投影图像所提取的遮蔽区域的内部的情况下,提取来自断层图像的图像特征和形状特征。当仅使用断层图像的图像特征时,可以在不使用层的位置的情况下,根据整个图像来计算图像特征。注意,视网膜层在黄斑部和视神经乳头中具有不同形状。例如,作为特征,不在黄斑部中心附近位置而是在视神经乳头中心附近的位置处,内界膜 1 具有向下凸起形状。另外,作为另一特征,当视网膜发生疾病时,由于视神经乳头凹陷扩大,所以内界膜 1 的形状扩大。为此,考虑到特征因部位的不同而不同,在接着的步骤 S1210 进行学习。

[0089] 在步骤 S1210,第二判断单元 260 使用根据眼底图像所计算出的图像特征、以及根据断层图像所计算出的各个层的图像特征和形状特征,判断是否存在病变部及其种类,并且确定要输出给用户的层的种类。例如,通过使用诸如支持向量机或 AdaBoost 等的识别器学习在正常和病变状态下根据断层图像所计算出的层的图像特征和形状特征,可以确定病变部。

[0090] 在步骤 S1211,当第二判断单元 260 基于从眼底图像和断层图像所提取的图像特征量判断为不存在病变部时,层结构修改单元 255 修改所有层的层结构的结果。另一方面,当第二判断单元 260 判断为存在病变部时,层结构修改单元 255 修改一部分层结构,即视网膜色素上皮边界 6 的结果。在这种情况下,层结构修改单元 255 以层结构检测单元 254 通过插值所计算出的层的位置作为初始值在特定范围内的垂直方向上搜索梯度特征,从而检测各个层。

[0091] 根据上述结构,除从眼底图像和投影图像所获得的图像特征以外,还使用从视网膜层的断层图像所获得的层的图像特征或形状特征来选择要呈现给用户的层的种类。由于除眼部的表面图像的特征量以外,还使用视网膜层内部的特征量,所以可以鲁棒地选择要呈现给用户的层的种类。

[0092] 下面接着说明改变特征提取单元 257 和第一判断单元 259 的处理内容的情况。本实施例与上述实施例的不同在于,对由特征提取单元 257 所提取的特征量设置权重,并且第一判断单元 259 从根据眼底图像和投影图像所提取的特征量中选择要逆投影至断层图像作为遮蔽区域的特征量。

[0093] 在本实施例中,代替使用从眼底图像和投影图像所提取的所有特征量作为检测断层图像时的遮蔽区域,从根据断层图像和眼底图像所获得的特征量中选择具有更高可能性的特征量,并且将其设置为断层图像的遮蔽区域。更具体地,仅在断层图像上更可能发生信号衰减的区域上设置遮蔽区域。为此,对于断层图像上不大可能发生信号衰减的区域,由于

代替通过插值来近似层而直接检测层,所以可以更精确地检测层结构。

[0094] 本实施例与上述实施例的不同在于,与图 3 中的步骤 S304 和 S307 具有不同的处理内容,并且根据步骤 S307 的判断结果执行步骤 S306 的区域指定处理。由于其它处理与上述实施例中的相同,所以不再重复对其的说明。下面将说明特征提取单元 257 检测到血管的情况。注意,可以以与下面的处理相同的方式计算除血管以外的病变部(白斑、脉络膜小疣、出血等)。

[0095] 当在步骤 S304 中特征提取单元 257 从投影图像和眼底图像检测到血管时,在不经过阈值处理二值化血管检测滤波器的输出结果的情况下,原样保持等于或大于阈值的输出值。可选地,特征提取单元 257 可以通过在从阈值到最大值的范围内将滤波器输出值分成一些值,将其转换成多值。可选地,特征提取单元 257 可以将滤波器输出值乘以加权函数,其中,该加权函数对于等于或小于阈值的滤波器输出值取 0,并且对最大值取 1。这样,由于提取特征量作为反映存在解剖学特征的可能性的值,所以在通过特征提取单元 257 被检测为血管的区域中,可能是血管的区域的输出值变大,并且在该阈值附近的区域的输出值变小。注意,当投影图像和眼底图像每像素具有不同位数时,期望对这些图像进行标准化处理。

[0096] 在步骤 S307,第一判断单元 259 通过从投影图像和眼底图像选择具有大的滤波器输出值的区域,选择具有高可能性的区域作为血管。选择具有等于或大于预定值的特征量的区域,这样可以实现从投影图像和眼底图像选择区域的选择方法。另外,可以使用已知的识别器,或者可以确定等于或大于阈值的前百分之几的区域。

[0097] 根据上述结构,对于断层图像上不可能发生信号衰减的区域,由于在不利用插值来近似层的情况下直接检测层,所以可以更精确地检测层结构。

[0098] 下面将说明向图 1 中示出的图像处理单元 200 添加层结构更新单元的情况。层结构更新单元用于更新针对各个 A-扫描独立检测到的层的位置,以具有三维平滑的层形状。为此,在图 1 中示出的图像处理单元 200 中的层结构修改单元 255 和定量单元 256 之间,图像处理设备还包括层结构更新单元。其它组件与图 1 中所示的相同。

[0099] 除在步骤 S430 和 S435 的层结构检测结果修改处理之后执行层结构检测结果更新处理以外,本实施例的图像处理单元在正常处理和异常处理时的处理与图 4A 和 4B 中的大体相同。下面将说明本实施例的图像处理单元的层结构检测结果更新处理。

[0100] 层结构更新单元更新由层结构检测单元 254 所检测到并通过层结构修改单元 255 修改后的视网膜层的结果。在应用诸如 Snakes 或水平集方法等的主动轮廓方法时,层结构更新单元以层结构检测单元 254 的检测结果作为初始值进行迭代计算以最小化能量值。在 Snakes 的情况下,层结构更新单元定义图像能和形状能,并且重复计算以最小化这些能的和。如下描述 Snakes 的能量公式:

$$[0101] \quad E = E_{\text{shape_local}} + E_{\text{image}} \cdots (10)$$

[0102] 其中, E 是全部能量值, $E_{\text{shape_local}}$ 是形状能量值,并且 E_{image} 是图像能量值。这样,在保持平滑层结构的同时,能量值向图像的边缘收敛。层结构更新单元基于这样所获得的能量来更新视网膜层的修改结果。

[0103] 例如,如下通过各个检测点处的亮度梯度以及上下层中的亮度的方差和来定义图像能:

[0104] $E_{\text{image}} = w_e E_{\text{edge}} + w_v (E_{\text{variance_of_upper_layer}} + E_{\text{variance_of_lower_layer}}) \cdots (11)$

[0105] 其中, E_{edge} 是各个控制点处的亮度梯度, $E_{\text{variance_of_upper_layer}}$ 是上层的亮度的方差, 并且 $E_{\text{variance_of_lower_layer}}$ 是下层的亮度的方差。 w_e 和 w_v 是权重。这样, 由于将上下层的亮度的方差定义为图像特征, 所以即使在层边界由于血管或病变部而衰减、并且不能获得图像梯度的层边界处, 图像能也收敛至层边界。例如, 在神经纤维层边界 2 的情况下, $E_{\text{variance_of_upper_layer}}$ 最小化神经纤维层边界 2 本身和内界膜 1 之间的层 (神经纤维层 2') 的亮度的方差。 $E_{\text{variance_of_lower_layer}}$ 最小化神经纤维层边界 2 和内丛状层边界 3 之间的层 (神经节细胞层 (未示出) + 内丛状层) 的亮度的方差。在本实施例中, 将下层定义为神经纤维层边界 2 和内丛状层边界 3 之间的层。可选地, 可以将神经节细胞层 (未示出) 定义为下层。注意, 对于各个层, 通过公式 (11) 所定义的图像能可以具有不同定义。例如, 由于内界膜 1 不会受到血管或病变部的影响, 所以可以仅定义 E_{edge} 。

[0106] 通过定义诸如一阶微分和二阶微分等的形状特征, 形状能用于在各个检测点之间进行平滑。注意, 可以在遮蔽区域和遮蔽区域外部的区域之间改变给予形状能和图像能的权重。例如, 当遮蔽区域中的信号衰减更有可能发生时, 将用于具有低可靠性的图像能的权重设置得小, 并且将用于形状能的权重设置得大。通过增大用于形状能的权重, 可以检测到平滑的层。

[0107] 根据上述结构, 可以根据视网膜的状态来检测层边界。检测因血管或诸如白斑等的病变部而遭受信号衰减的层, 并且更新检测结果以在保持层形状结构的同时检测层边界。因此, 可以三维平滑地检测到视网膜的层结构。

[0108] 下面将说明这样的结构: 从图 11 中示出的结构省略眼底图像获取单元 222, 以应对不能获得眼底图像、而仅能获得断层图像的情况。由于其它组件与图 11 中的相同, 所以不再重复对其的说明。除排除步骤 S1205 和 S1206 的处理以外, 该图像处理设备的处理序列与图 12 中示出的大体相同。另外, 与上述实施例的其它差异在于, 输入图像仅包括断层图像和根据断层图像所生成的投影图像。

[0109] 因此, 在步骤 S1202, 断层图像获取单元 221 获取从断层图像摄像设备 20 所发送的断层图像。然后, 单元 221 将所获取的信息发送给存储单元 240。在步骤 S1204, 特征提取单元 257 从由投影图像生成单元 251 所生成的投影图像提取血管和病变部。这些血管和病变部的提取方法与步骤 S304 中的相同。然而, 提取对象是投影图像。另外, 除血管和病变部以外, 特征提取单元 257 可以提取黄斑部和视神经乳头等。还可以使用这些特征量来减小血管和病变部提取中的检测误差。在步骤 S1209, 特征提取单元 257 从断层图像提取病变部的特征。在这种情况下, 代替仅在视网膜层中的遮蔽区域中进行处理, 期望特征提取单元 257 对整个视网膜层执行特征提取处理。

[0110] 根据上述结构, 当仅可获得断层图像时, 可以在不增加用户负荷的情况下从眼部的断层图像获取诊断多种疾病所需的诊断信息数据。

[0111] 在本发明的上述实施例中, 仅使用从图像所获得的特征量来选择要测量的层的种类。然而, 当可获得先前的检查结果时, 通常预先确定要分割的层。因此, 使用该信息可以简化或加快该处理。

[0112] 考虑到这点, 根据上述实施例的第一判断单元 259 或第二判断单元 260 使用通过 ETBE 信息获取单元 210 所获取的信息, 确定要检测的层的种类。当 ETBE 信息获取单元 210

获取与被检眼相关联的检查结果,并且该检查结果包括与断层图像摄像设备 20 相关联的先前的检查结果时,ETBE 信息获取单元 210 获取在前一断层图像摄像时所测量的视网膜层的信息。因此,在随后的情况下,第一判断单元 259 或第二判断单元 260 选择与前一断层图像摄像时的定量中所使用的视网膜层中的层相同的层。可选地,在 ETBE 信息获取单元 210 获取与被检眼相关联的检查结果并且该检查结果描述病例名称的情况下,ETBE 信息获取单元 210 获取该信息。这样,第一判断单元 259 或第二判断单元 260 可以根据除断层图像摄像设备 20 以外的检查设备的检查结果选择要测量的层的种类。

[0113] 根据上述结构,使用 ETBE 信息,可以加速该处理,并且可以更精确地指定要提取的层。

[0114] 在上述实施例中,对整个图像应用层结构强调处理。然而,对除视网膜层以外的图像区域应用层结构强调处理效率低,并且需要长的处理时间。下面将说明这样一种情况,在该情况下,在层结构强调处理之前,检测视网膜层,并且将其设置为感兴趣区域,以缩短所有层结构检测处理序列所需的时间,其中,仅对感兴趣区域的内部应用层结构强调处理。为了加速该处理,在各个实施例中如下修改处理。在这种情况下,以一个实施例为例,给出下面的说明。然而,当将相同处理应用于其它实施例时,也可以加速这些实施例的处理。

[0115] 与本实施例相对应的加速处理除在步骤 S410 和 S415 的层结构强调处理之前执行感兴趣区域检测处理以外,与图 4A 和 4B 中的大体相同。其它处理与图 4A 和 4B 中的相同。下面将说明图像处理单元的感兴趣区域检测处理。

[0116] 层结构检测单元 254 预先检测容易检测到层结构的层,并且参考该层将视网膜层的整个区域检测为感兴趣区域。例如,单元 254 检测内界膜 1,并且通过多维曲面来近似检测到的点群。然后,单元 254 将从此开始直到深度方向上特定距离的区域设置为感兴趣区域。可选地,单元 254 还检测视网膜色素上皮边界 6,并且通过多维曲面来近似检测到的点群。然后,单元 254 将通过近似所检测到的内界膜 1 和视网膜上皮边界 6 之间的区域设置为感兴趣区域。可选地,单元 254 仅通过阈值处理检测视网膜层区域,并且对所检测到的区域应用标签处理。然后,单元 254 将感兴趣区域设置成围绕连接像素数最多的两个标签区域。利用这些处理,单元 254 可以检测作为感兴趣区域的视网膜层。

[0117] 然后,仅对通过上述处理所设置的感兴趣区域的内部应用步骤 S410 或 S415 的层结构强调处理。另外,在步骤 S420 或 S425 检测到层结构时,将搜索区域限制至感兴趣区域。注意,即使当感兴趣区域检测处理预先检测到内界膜 1 和视网膜色素上皮边界 6 时,步骤 S420 或 S425 的处理也可以使用层结构强调图像特征再次检测到它们。

[0118] 根据上述结构,层结果强调单元 253 仅向感兴趣区域的内部应用层结构强调处理,并且层结构检测单元 254 仅将感兴趣区域的内部设置为搜索区域。因此,由于仅在感兴趣区域中执行该处理,所以可以缩短整个层结构检测处理序列所需的时间。

[0119] 其它实施例

[0120] 上述实施例作为图像处理设备实现本发明。然而,本发明的实施例不仅限于图像处理设备。本实施例作为运行在计算机上的软件实现本发明。图 13 是示出作为软件实现图像处理设备 10 的各个单元的功能所使用的计算机的基本结构的框图。CPU 1901 使用存储在 RAM 1902 和 ROM 1903 中的程序和数据控制整个计算机。另外,CPU 1901 通过控制执行与图像处理设备 10 的各个单元相对应的软件程序,实现各个单元的功能。RAM 1902 包

括用于临时存储从外部存储装置 1904 所载入的计算机程序和数据区域,并且还包括 CPU 1901 执行各种处理所需的区域。通过 RAM 1902 等实现存储单元 240 的功能。

[0121] ROM 1903 通常存储计算机的 BIOS 和设置数据等。外部存储装置 1904 用作诸如硬盘驱动器的大容量信息存储装置,并且存储由 CPU 1901 所执行的操作系统和计算机程序。外部存储装置 1904 存储在描述本实施例时已给出的信息,并且根据需要将这类信息载入 RAM 1902 中。通过例如液晶显示器构成监视器 1905。例如,监视器 1905 可以显示从显示单元 270 所输出的内容。键盘 1906 和鼠标 1907 是输入装置。操作者可以使用这些输入装置向图像处理设备 10 输入各种指示。经由这些输入装置实现 ETBE 信息获取单元 210 和指示获取单元 230 的功能。

[0122] 使用接口 1908 来在图像处理设备 10 和外部设备之间交换各种数据,并且通过例如 IEEE1394、USB 或 Ethernet ⑨ 端口等构成接口 1908。将经由接口 1908 所获取的数据写入 RAM 1902。经由接口 1908 实现图像获取单元 220 和结果输出单元 280 的功能。经由总线 1909 将上述组件相互连接。

[0123] 还可以利用读出并执行记录在存储器装置上的程序以进行上述实施例的功能的系统或设备的计算机(或者 CPU 或 MPU 等装置)和通过下面的方法实现本发明的方面,其中,利用系统或设备的计算机通过例如读出并执行记录在存储器装置上的程序以进行上述实施例的功能来进行上述方法的各步骤。为此,例如,通过网络或者通过用作存储器装置的各种类型的记录介质(例如,计算机可读介质)将该程序提供给计算机。

[0124] 尽管参考典型实施例说明了本发明,但是应该理解,本发明不局限于所公开的典型实施例。所附权利要求书的范围符合最宽的解释,以包含所有这类修改、等同结构和功能。

[0125] 本申请要求 2009 年 6 月 2 日提交的日本 2009-133454 号专利申请的优先权,其全部内容通过引用包含于此。

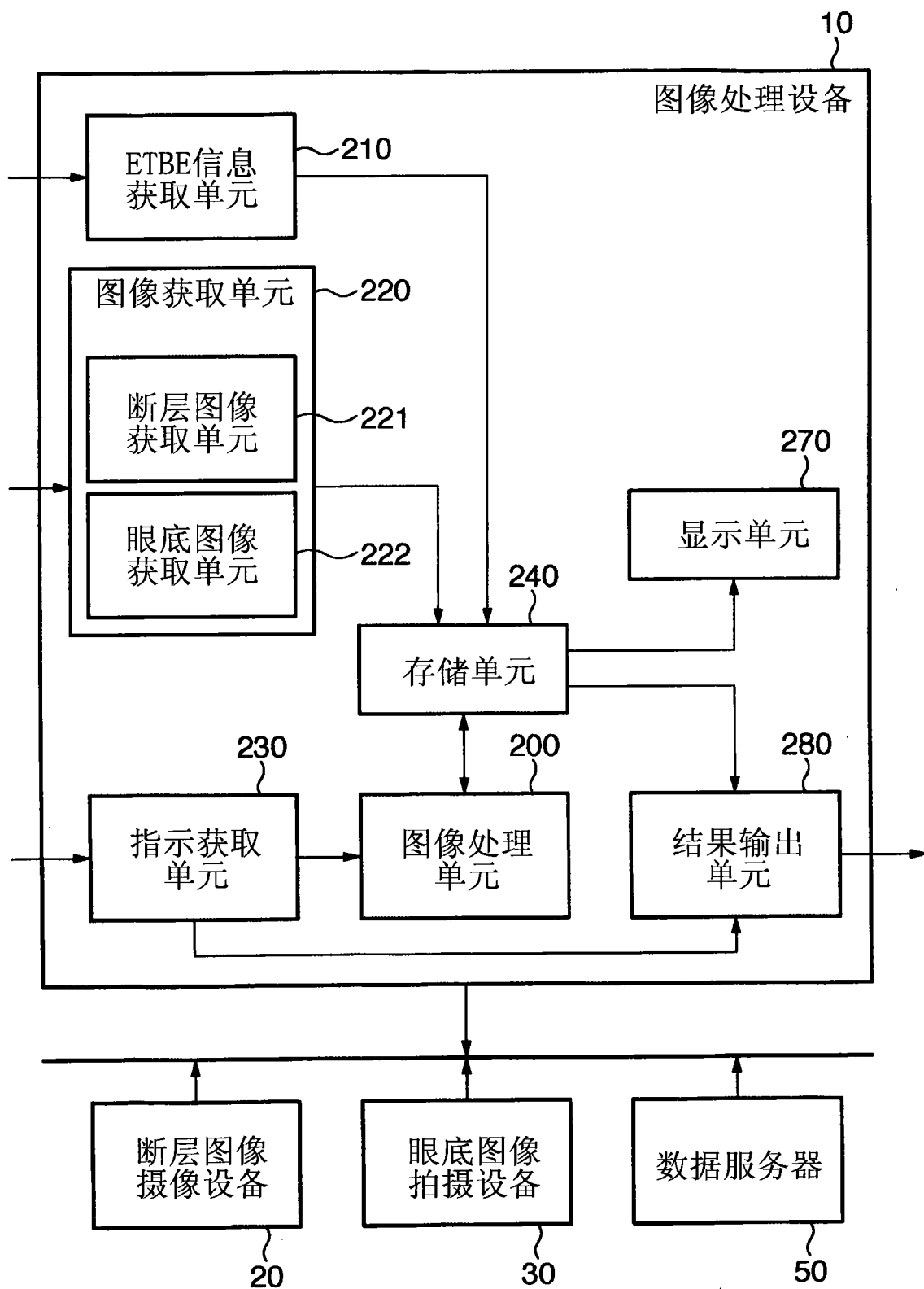


图 1

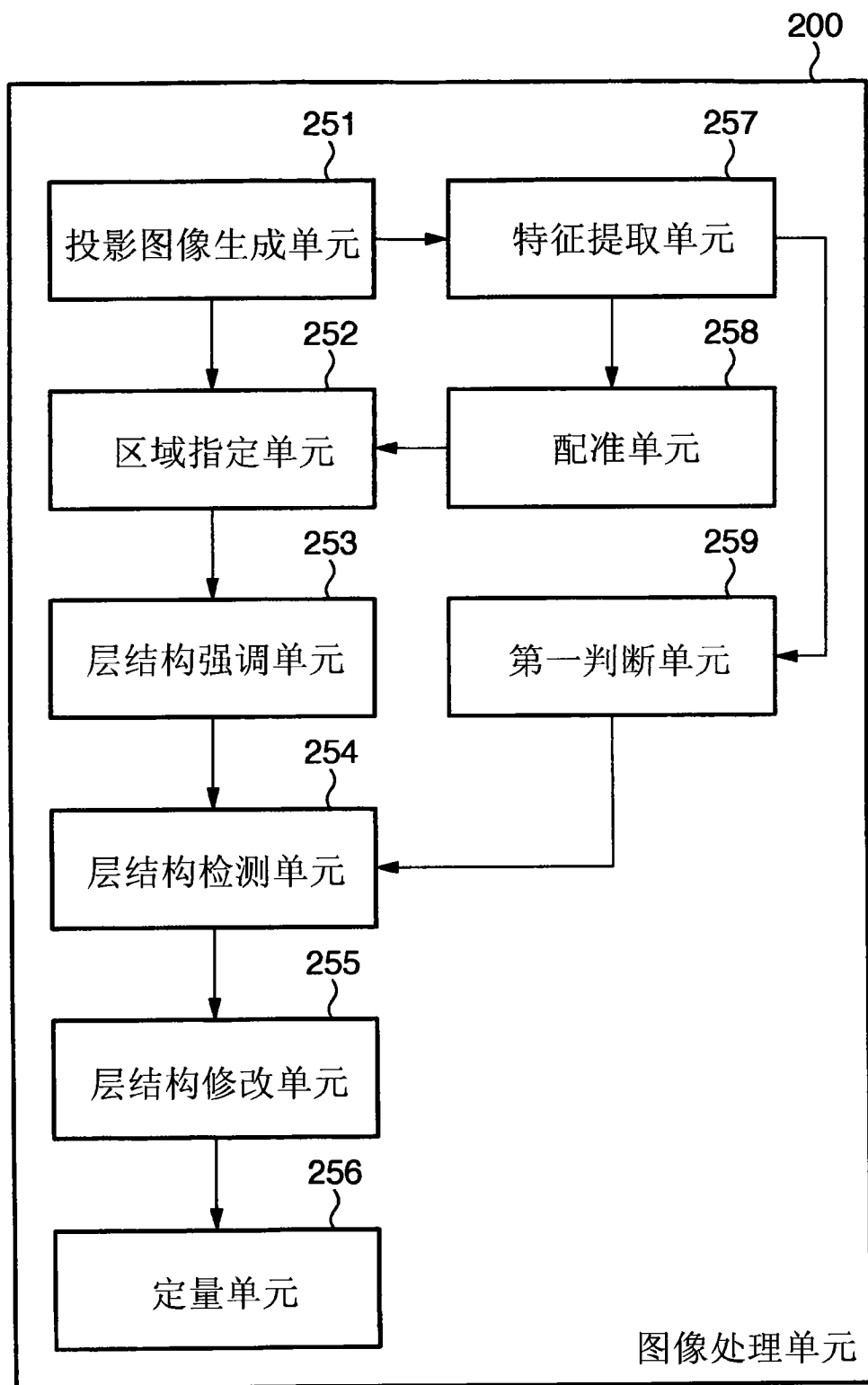


图 2

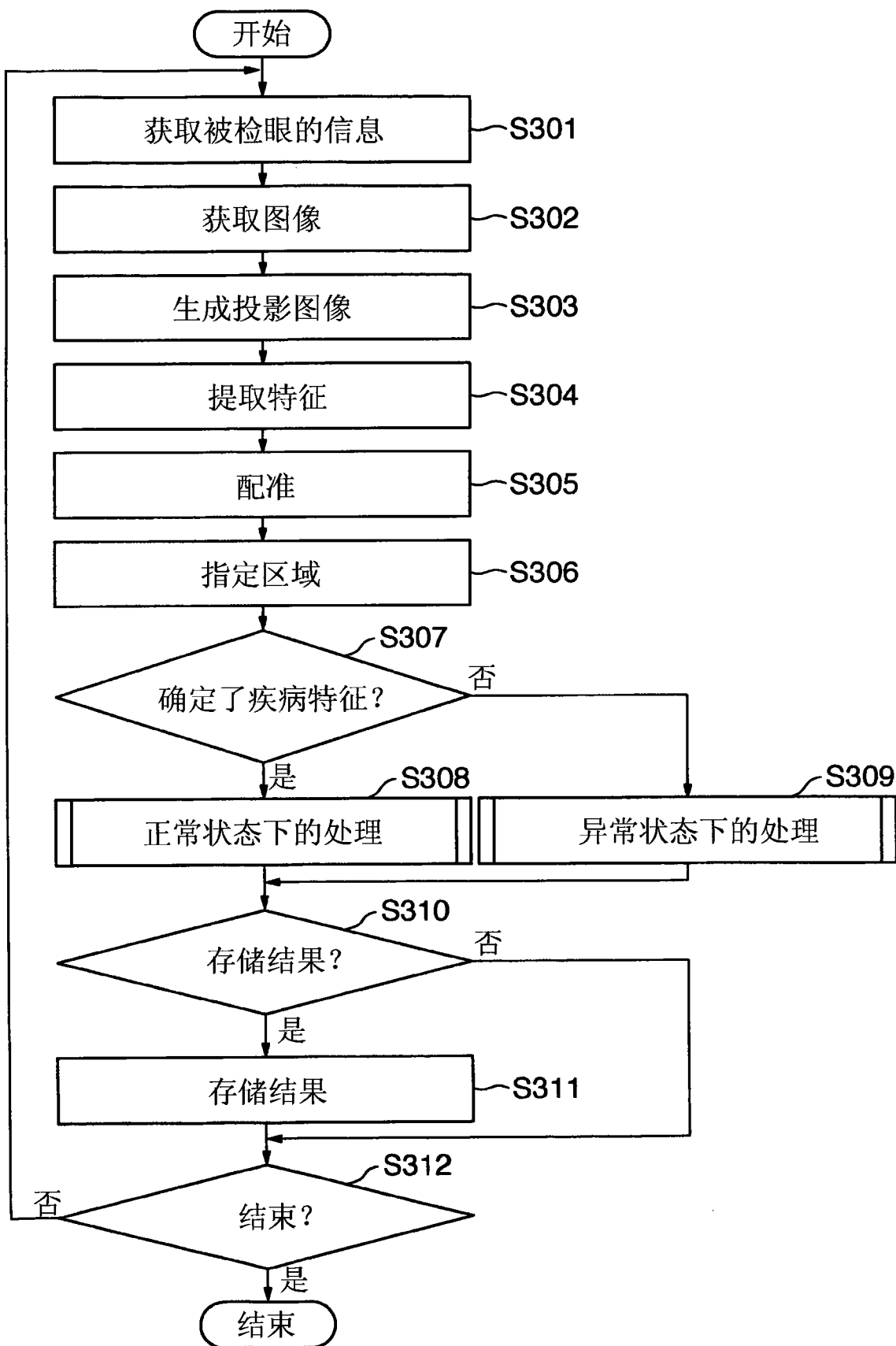


图 3

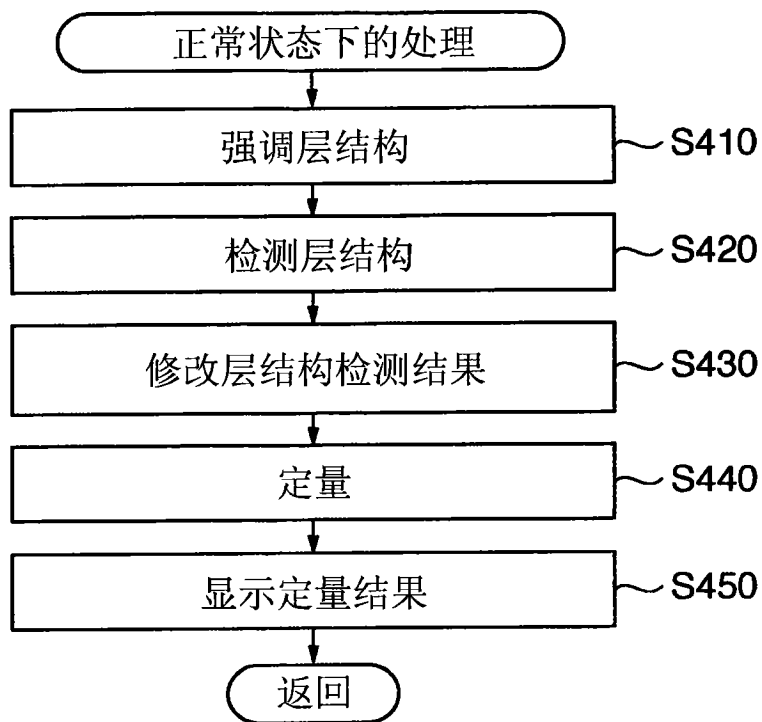


图 4A

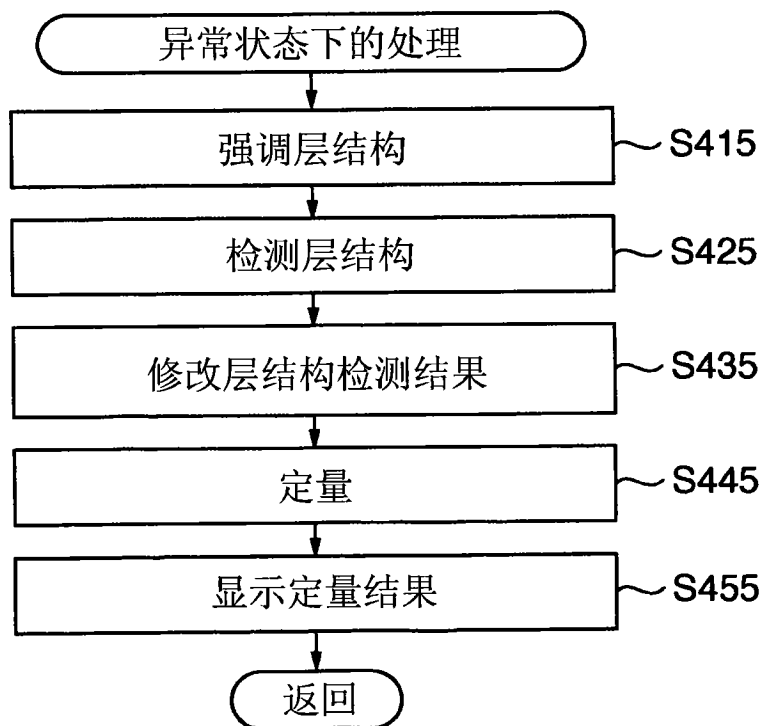


图 4B

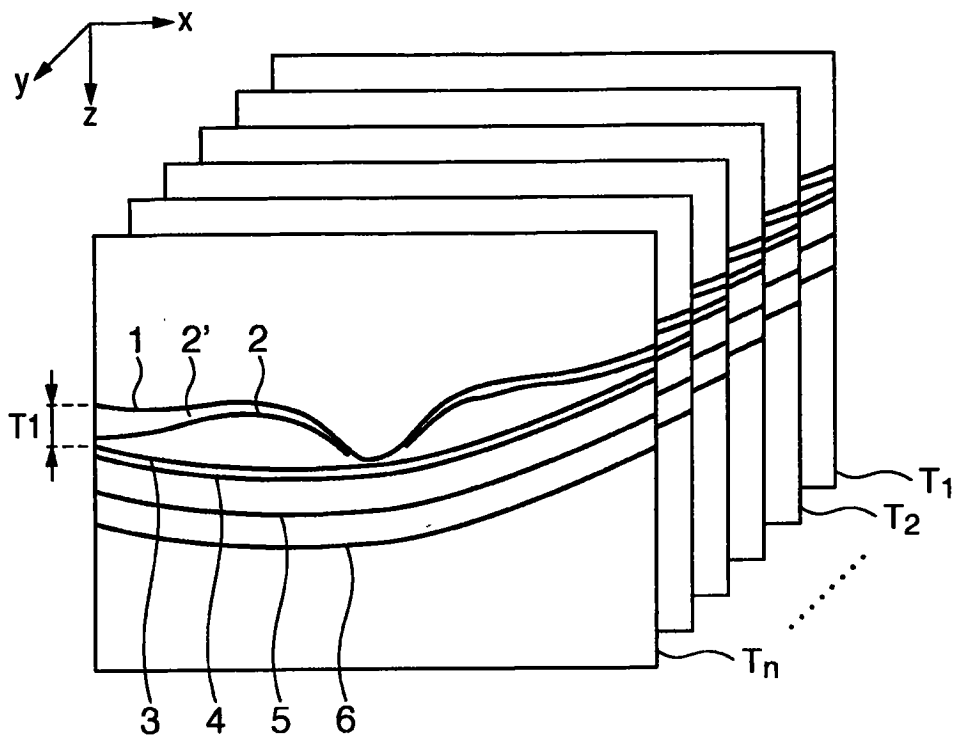


图 5A

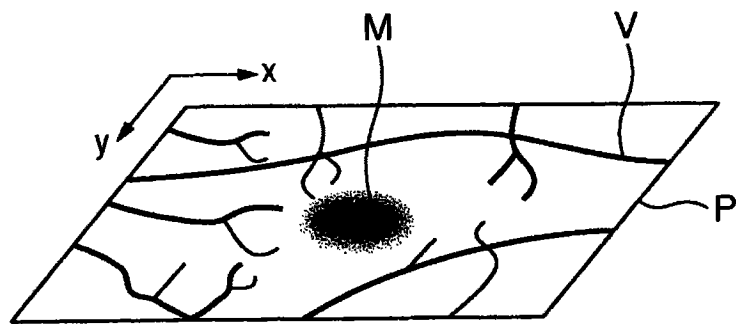


图 5B

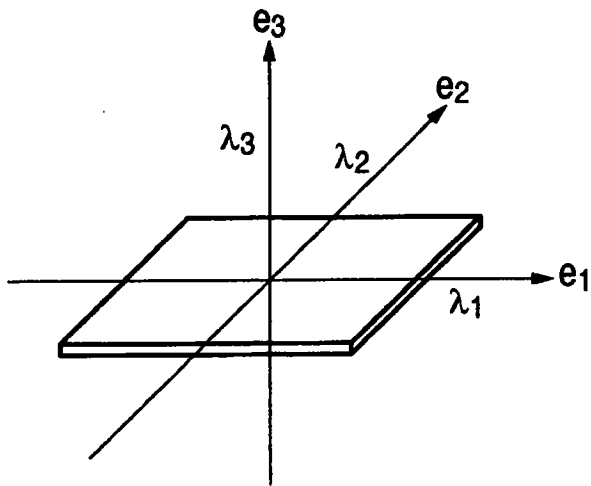


图 6

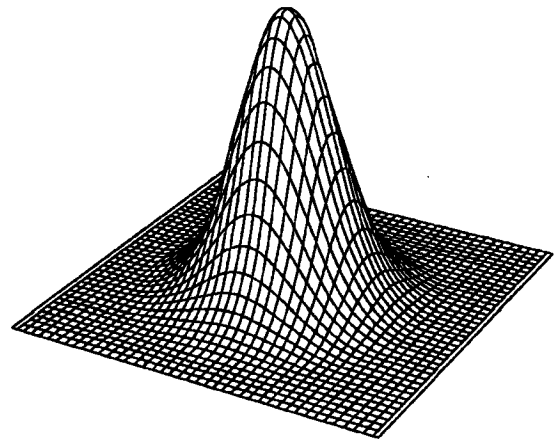


图 7A

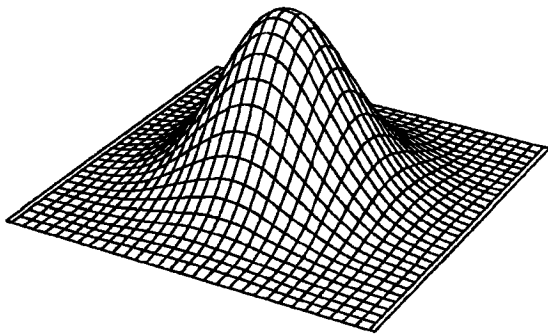


图 7B

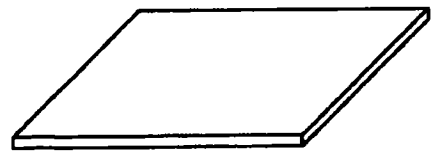


图 7C

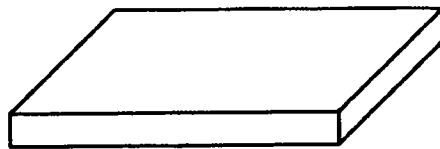


图 7D

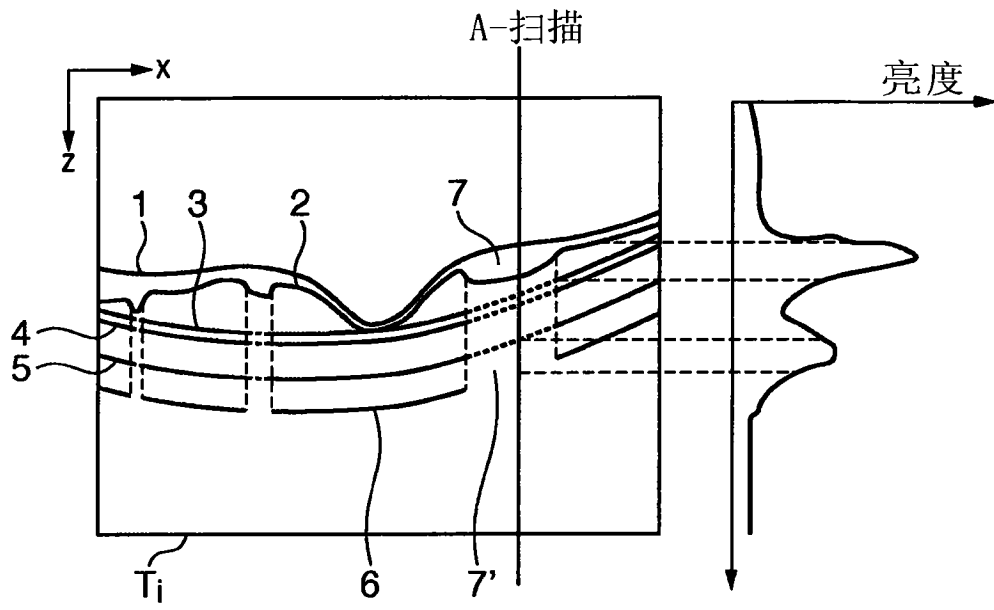


图 8A

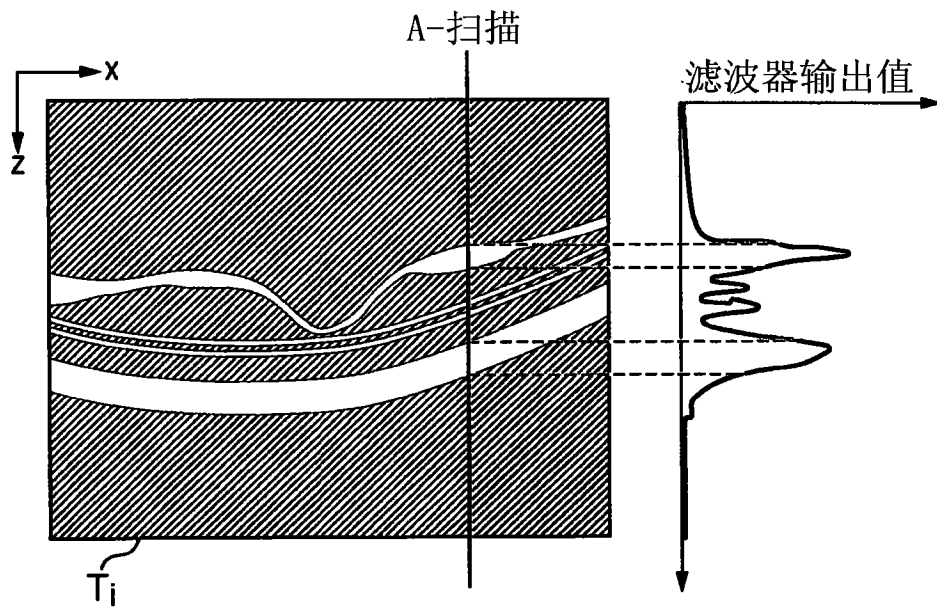


图 8B

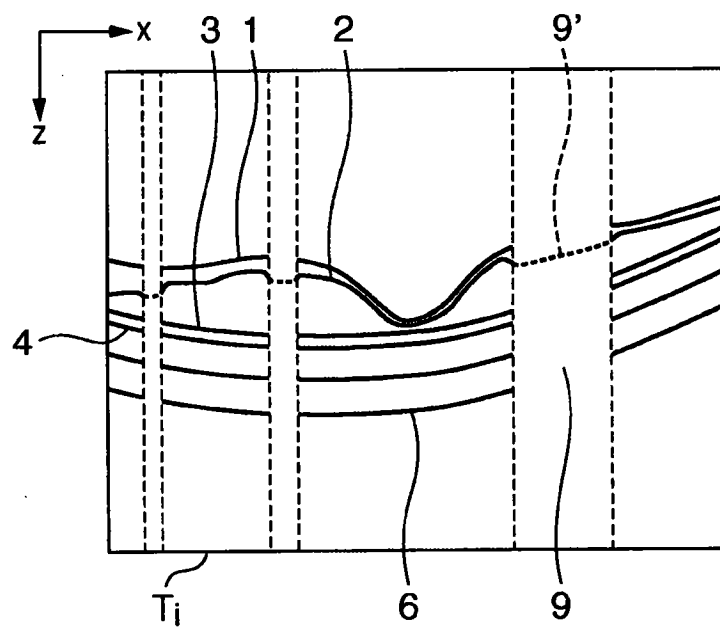


图 9

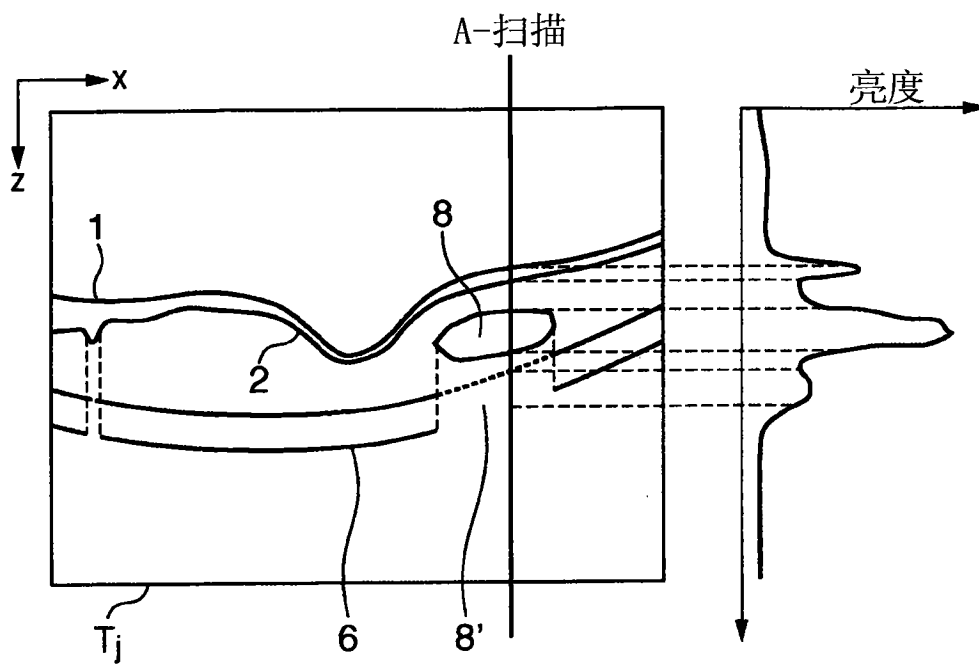


图 10A

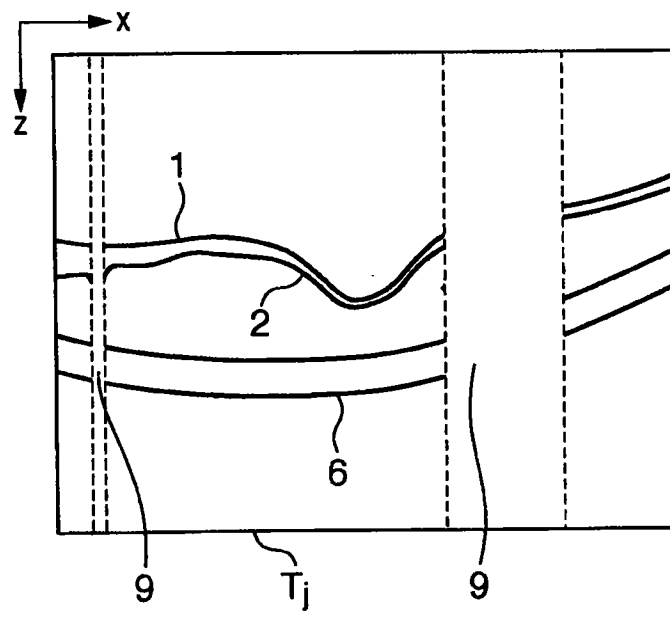


图 10B

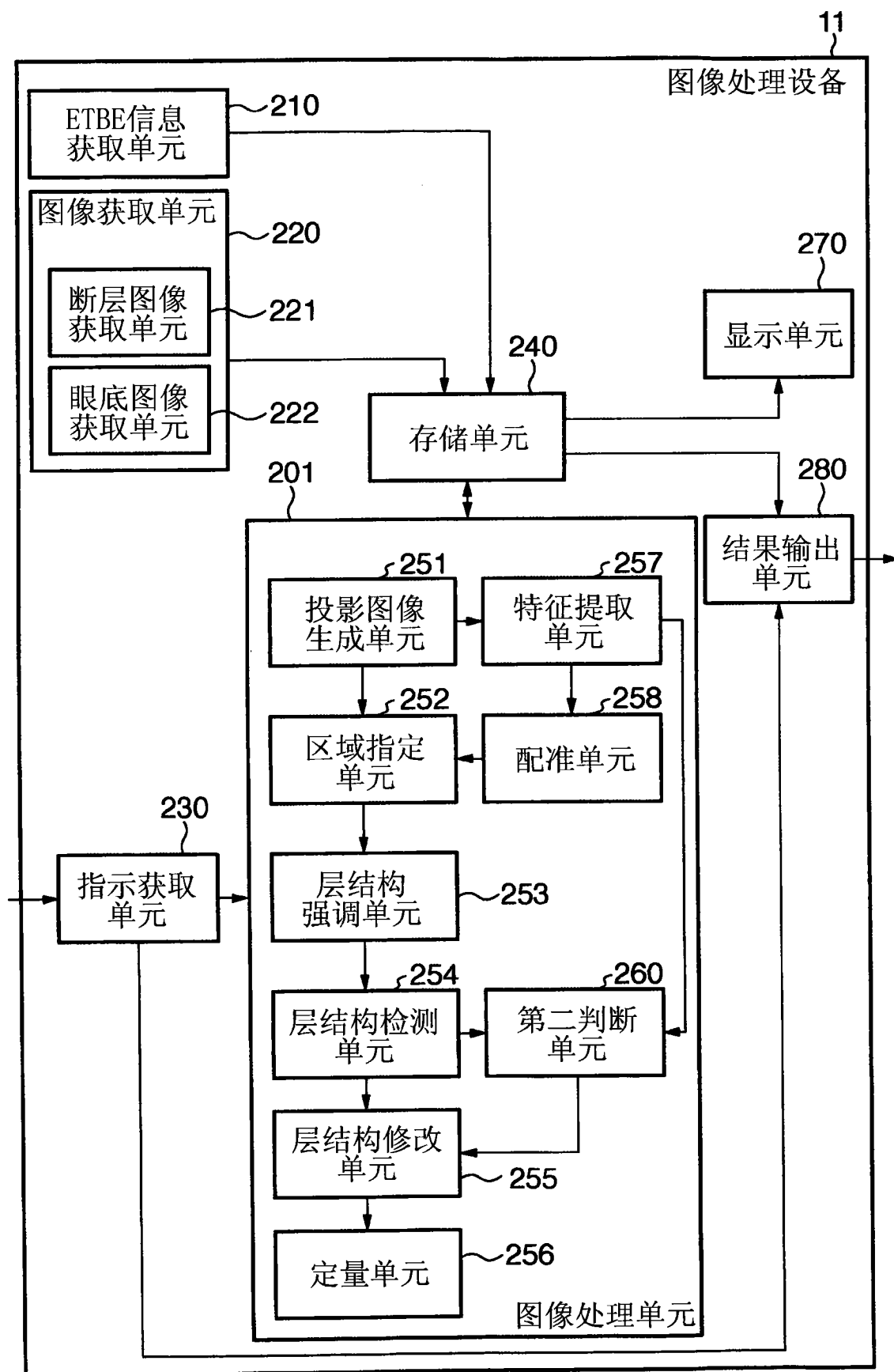


图 11

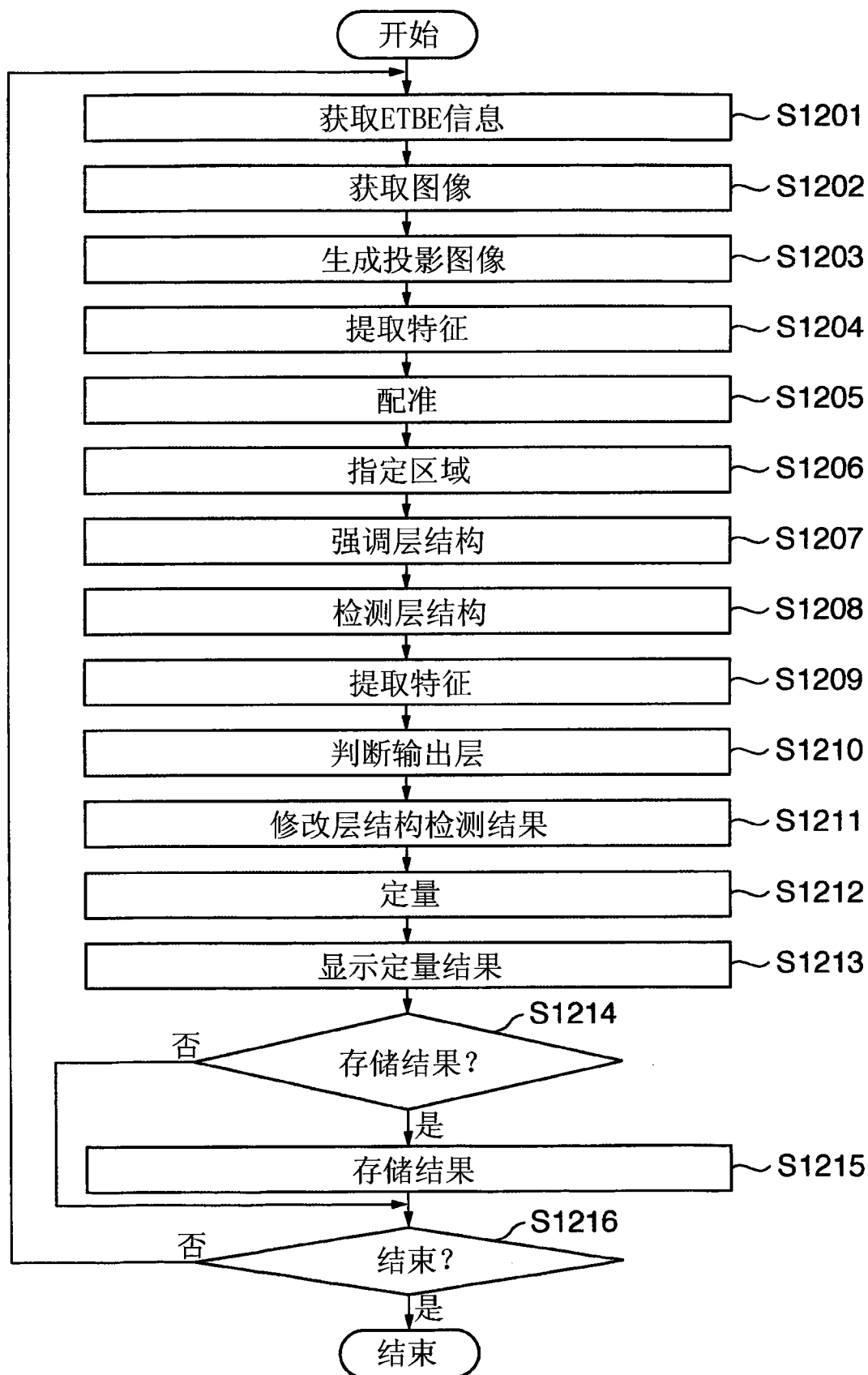


图 12

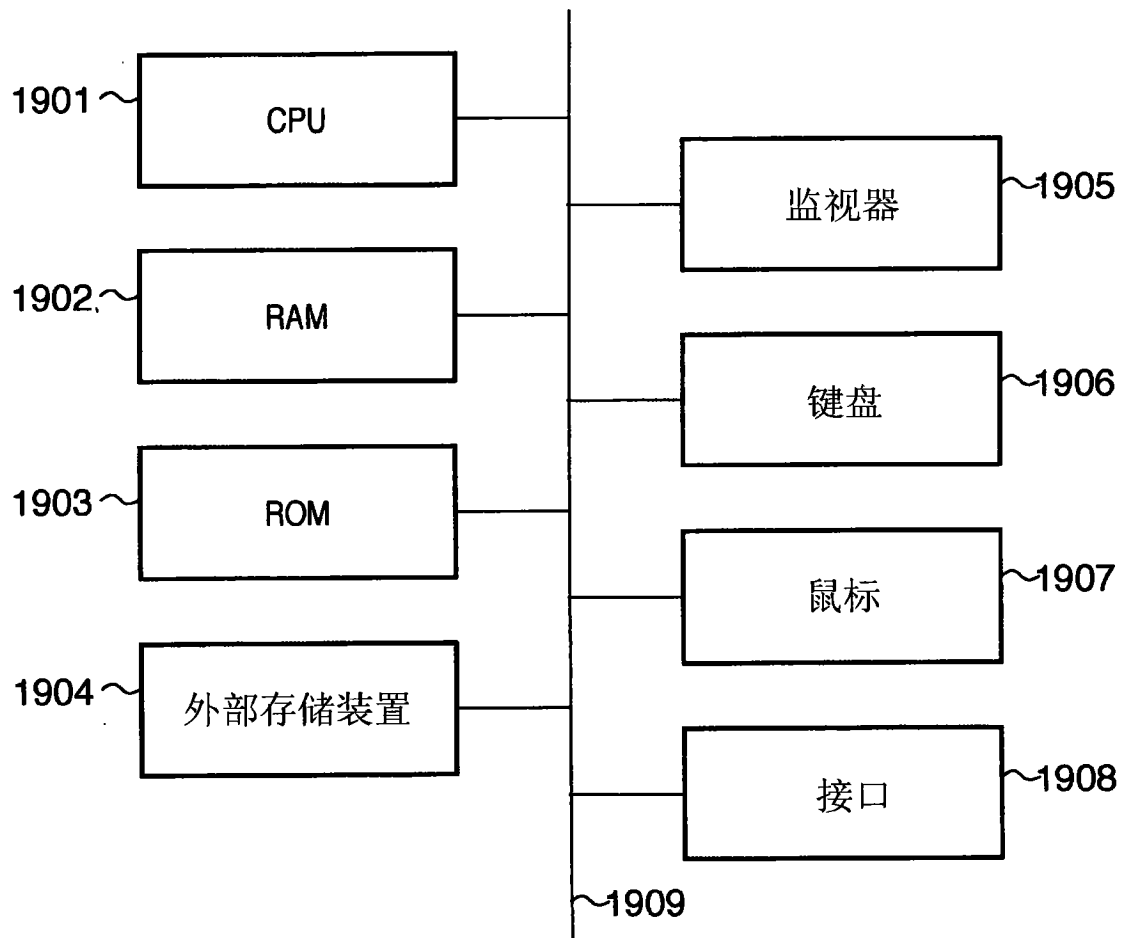


图 13