



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110460837 A

(43)申请公布日 2019.11.15

(21)申请号 201910373300.7

H04N 13/383(2018.01)

(22)申请日 2019.05.07

G06N 3/04(2006.01)

(30)优先权数据

G06K 9/62(2006.01)

62/668,124 2018.05.07 US

G06K 9/00(2006.01)

16/376,329 2019.04.05 US

G02B 27/01(2006.01)

G02B 27/00(2006.01)

(71)申请人 苹果公司

G01D 11/00(2006.01)

地址 美国加利福尼亚

(72)发明人 Y·R·库勒蒂马尔 A·B·沃特森

N·P·邦尼尔 M·N·阿高格鲁

A·G·贝拉尔迪诺 E·H·克里曼

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 罗亚男

(51)Int.Cl.

H04N 13/366(2018.01)

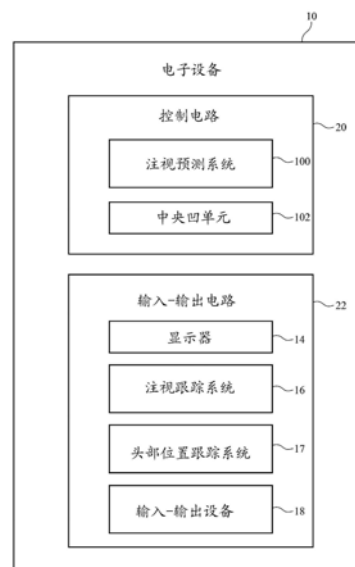
权利要求书3页 说明书20页 附图12页

(54)发明名称

具有中央凹显示器和注视预测的电子设备

(57)摘要

本发明题为“具有中央凹显示器和注视预测的电子设备的电子设备”，公开了一种电子设备，其可具有中央凹显示器、眼睛跟踪系统和头部运动检测系统。该眼睛跟踪系统可采集关于用户在显示器上的关注点的信息，而该头部运动检测系统可采集关于观察者的头部的旋转的信息。基于该关注点信息、头部旋转信息、图像数据、正在进行的眼睛/头部运动的类型和/或疲劳信息，该电子设备中的控制电路可产生具有不同分辨率和(或)视觉质量的区域、用于显示的图像数据。图像的全分辨率和(或)质量部分可与关注点重叠。图像的一个或多个更低分辨率部分可围绕全分辨率部分。该控制电路可包括用于预测跳视期间用户的注视的移动的注视预测系统。



1. 一种电子设备,包括:

注视跟踪系统,所述注视跟踪系统被配置为产生注视点信息;

显示器,所述显示器被配置为基于所述注视点信息输出具有不同分辨率或质量的区域的图像;和

注视预测系统,所述注视预测系统被配置为分析由所述注视跟踪系统产生的所述注视点信息,以随后预测跳视着陆位置,其中所述显示器被配置为基于所预测的跳视着陆位置来更新所述图像。

2. 根据权利要求1所述的电子设备,还包括:

头部位置跟踪系统,所述头部位置跟踪系统被配置为产生头部旋转信息,其中所述注视预测系统被进一步配置为分析来自所述头部位置跟踪系统的所述头部旋转信息,以随后预测和细化所述跳视着陆位置。

3. 根据权利要求2所述的电子设备,其中所述注视预测系统被配置为通过检查是否满足一组条件来检测何时必须执行注视预测。

4. 根据权利要求3所述的电子设备,其中所述注视点信息包括眼睛运动速度,并且其中所述注视预测系统被配置为通过识别眼睛运动速度何时越过预先确定的阈值水平来检测何时必须执行注视预测。

5. 根据权利要求3所述的电子设备,其中当所述注视点信息指示眨眼、平滑追寻眼睛运动(SPEM)或部分眼睑闭合时,所述注视预测系统不执行所述注视预测。

6. 根据权利要求2所述的电子设备,其中所述注视预测系统包括:

决策边界确定电路,所述决策边界确定电路被配置为接收所述注视点信息和所述头部旋转信息以及将所接收的注视点信息点和所述头部旋转信息映射到多个模型中的所选择的模型。

7. 根据权利要求6所述的电子设备,其中所述注视预测系统还包括:

估计电路,所述估计电路被配置为计算用于预测所述跳视着陆位置的估计注视位移值。

8. 根据权利要求7所述的电子设备,其中通过向数据集应用无监督聚类过程来训练所述决策边界确定电路。

9. 根据权利要求7所述的电子设备,其中通过向数据集应用回归过程来训练所述估计电路,其中所述决策边界确定电路和所述估计电路是被联合训练的。

10. 根据权利要求2所述的电子设备,其中所述电子设备为头戴式电子设备,所述头戴式电子设备还包括:

初始位移估计电路,所述初始位移估计电路被配置为接收所述注视点信息以产生初始估计注视位移值;

决策边界确定和查找电路,所述决策边界确定和查找电路被配置为从所述初始位移估计电路接收所述初始估计注视位移值和眼睛运动速度,从所述头部位置跟踪系统接收所述头部旋转信息,将所接收的初始估计注视位移值、所述眼睛运动速度和所述头部旋转信息映射到多个模型中的所选择的模型,以及输出与所选择的模型相关联的对应索引;和

最终位移估计电路,所述最终位移估计电路被配置为从所述决策边界确定和查找电路接收所述索引以及计算用于预测所述跳视着陆位置的对应最终估计注视位移值,其中通过

向所述数据集应用回归过程来训练所述初始位移估计电路和所述最终位移估计电路,并且其中通过向所述数据集应用聚类过程来训练所述决策边界确定和查找电路。

11. 根据权利要求1所述的电子设备,其中所述注视预测系统被配置为基于所述注视点信息并基于来自头部跟踪系统的头部位置信息来预测所述跳视着陆位置。

12. 根据权利要求1所述的电子设备,其中所述注视预测系统被配置为基于所述注视点信息并基于用于所述显示器的图像数据来预测所述跳视着陆位置。

13. 根据权利要求12所述的电子设备,其中所述注视预测系统被配置为将所述图像数据分类为基于图像的内容和基于文本的内容中的所选择的一种。

14. 根据权利要求1所述的电子设备,其中所述注视预测系统被配置为基于所述注视点信息并基于疲劳信息来预测所述跳视着陆位置。

15. 根据权利要求14所述的电子设备,其中所述疲劳信息包括所述电子设备已被使用的时间长度。

16. 根据权利要求1所述的电子设备,其中所述注视预测系统包括基于长短期记忆的(基于LSTM的)预测网络,所述预测网络被配置为预测所述跳视着陆位置。

17. 根据权利要求16所述的电子设备,其中所述基于LSTM的预测网络包括输入层、长短期记忆(LSTM)层、完全连接层、被配置为预测所述跳视着陆位置的回归层、以及被配置为输出与所预测的跳视着陆位置相关联的不确定性的不确定性估计器。

18. 一种操作电子设备的方法,所述方法包括:

利用所述电子设备中的注视跟踪系统,产生注视数据;

利用所述电子设备上的显示器,输出具有不同分辨率的区域的图像;

利用所述电子设备中的注视预测系统,使用所述注视数据来预测跳视着陆位置;以及基于所预测的跳视着陆位置来在所述显示器上调节不同分辨率的所述区域的位置。

19. 一种电路,所述电路包括:

显示器,所述显示器被配置为输出具有高分辨率或质量区域和围绕所述高分辨率或质量区域的分辨率或质量逐渐降低的一个或多个区域的图像,其中所述高分辨率或质量区域与用户的注视点重叠;

注视跟踪系统,所述注视跟踪系统被配置为跟踪所述用户的注视点,其中所述用户的注视点从跳视开始时的第一关注点移动到所述跳视结束时的第二关注点;

头部跟踪系统,所述头部跟踪系统被配置为跟踪所述用户的头部的位置;

注视预测系统,所述注视预测系统被配置为在所述注视跟踪系统检测到第二注视点之前预测跳视着陆位置以估计所述第二注视点。

20. 根据权利要求19所述的电路,其中所述注视预测系统包括:

基于回归的初始位移估计电路,所述基于回归的初始位移估计电路被配置为从所述注视跟踪系统接收位移和定时信息,以产生初始注视位移估计;

基于聚类的决策边界确定和查找电路,所述基于聚类的决策边界确定和查找电路被配置为从所述基于回归的初始位移估计电路接收所述初始注视位移估计并从所述头部跟踪系统接收头部旋转信息,将所接收的初始注视位移估计和所述头部旋转信息映射到多个模型中的所选择的模型,以及输出与所选择的模型相关联的对应索引;和

基于回归的最终位移估计电路,所述基于回归的最终位移估计电路被配置为从所述决

策边界确定和查找电路接收所述索引以及计算用于预测所述跳视着陆位置的对应最终注视位移估计。

## 具有中央凹显示器和注视预测的电子设备

### 技术领域

[0001] 本发明整体涉及具有显示器的电子设备,更具体地讲,涉及具有中央凹显示器的设备。

### 背景技术

[0002] 中央凹显示器将显示区域划分成不同分辨率和/或视觉质量的多个区域,并能够基于用户的注视来改变这些区域的位置。例如,在以用户注视为中心的第一区域具有高分辨率和/或视觉质量,围绕第一区域的第二区域具有中等分辨率和/或视觉质量,并且围绕第二区域的第三区域具有低分辨率和/或视觉质量。

[0003] 然而,人的注视会发生从一个固定点到另一个固定点的快速弹道运动,这种现象被称为跳视。考虑用户的注视当前与显示器的中央凹中心(即,具有最高分辨率的区域的中心)对准的情形。当发生跳视时,用户的注视可从其在显示器上的初始注视点跳到在显示器上的新的跳视着陆位置,新的跳视着陆位置可位于显示器的具有更低分辨率和/或视觉质量的另一个区域上。

[0004] 在实践中,在用户的注视已到达新的跳视着陆位置的时刻和该显示器更新其中央凹中心以匹配用户的新注视点的时间之间存在有限延迟。这种系统延迟导致用户的注视位置与中央凹中心之间不匹配,这可能导致不匹配的中央凹区(高质量区),从而导致用户感知到图像质量降低。

### 发明内容

[0005] 电子设备可具有显示器。注视跟踪系统可采集关于用户在显示器上的关注点(本文中有时称为“注视点”)的信息。基于该注视点,电子设备中的控制电路可产生具有多种分辨率或质量的图像的图像数据。上一句中的术语“或”是指显示器可产生具有多种不同分辨率或多种不同质量的图像,或者显示器可产生具有多种不同分辨率和多种不同质量的图像。图像的全分辨率和/或最佳质量区域与注视点重叠。低分辨率和/或低质量图像区域位于注视点的外围区域中。与分辨率相比,“质量”可指渲染质量(例如,更好的纹理渲染或三角测量)或压缩质量(例如,更强或更弱的量化)。可以在相同分辨率下表现出不同水平的渲染或压缩质量。

[0006] 在跳视期间,用户的关注点从跳视开始/起始时的第一注视点移动到跳视结束时的第二注视点。注视预测系统可分析由注视跟踪系统计算的过往注视点和当前注视点,以便在注视跟踪系统实际计算第二注视点之前,预测跳视着陆位置。显示器电路基于预测的跳视着陆位置更新图像,使得图像的全分辨率区域与预测的跳视着陆位置重叠,以减小可见中心凹误差。

[0007] 在一种合适的布置中,注视预测系统可包括决策边界确定电路和估计电路。该决策边界确定电路被配置为接收注视点信息并将所接收的注视点信息映射到多个模型中的所选择的模型。该估计电路被配置为计算用于预测跳视着陆位置的估计注视位移值。可通

过训练该决策边界确定电路用于最优聚类,同时训练估计电路用于最优回归,从而联合训练决策边界确定电路和估计电路。

[0008] 在另一种合适的布置中,该注视预测系统可包括初始位移估计电路、决策边界确定和查找电路,以及最终位移估计电路。该初始位移估计电路接收注视点信息并产生初始估计注视位移值。该决策边界确定和查找电路接收初始估计注视位移值,将所接收的初始估计注视位移值映射到其他指示符、多个模型中的所选择的模型,并输出与所选择的模型相关联的对应索引。最终位移估计电路从决策边界确定和查找电路接收索引,并计算用于预测跳视着陆位置的对应最终估计注视位移值。可通过向数据集(例如,来自其他用户的训练数据和/或来自相同用户的过往数据)应用回归过程来训练该初始位移估计电路和最终位移估计电路。可通过向数据集应用聚类过程来训练该决策边界确定和查找电路。

[0009] 在另一种合适的布置中,该注视预测系统可包括基于长短期记忆的(基于LSTM的)预测网络,该预测网络被配置为预测跳视着陆位置。基于LSTM的预测网络可包括输入层、长短期记忆(LSTM)层、完全连接层、被配置为预测跳视着陆位置的回归层、以及被配置为输出与预测的跳视着陆位置相关联的不确定性的不确定性估计器。基于LSTM的预测网络可基于从来自注视跟踪系统的注视位置信息、来自头部位置跟踪系统的头部位置信息、用于显示的图像数据和疲劳信息导出的特征,输出预测的跳视着陆位置。

## 附图说明

[0010] 图1是根据一个实施方案的具有中央凹显示器的例示性电子设备的示意图。

[0011] 图2是根据一个实施方案的例示性注视跟踪系统的图示。

[0012] 图3是根据一个实施方案的例示性中央凹显示器的图示。

[0013] 图4是示出根据一个实施方案的用于检测跳视的各种状况的时序图。

[0014] 图5是根据一个实施方案的用于操作具有注视预测的中央凹显示器的例示性步骤的流程图。

[0015] 图6是示出根据一个实施方案的注视预测系统的一种合适的具体实施的图示。

[0016] 图7A是根据一个实施方案的将注视位移绘示为跳视开始之后时间的函数的图示。

[0017] 图7B是示出根据一个实施方案的如何可以将图7A中的曲线总体分组到多个局域化模型中的图示。

[0018] 图8是示出根据一个实施方案的注视预测系统的另一种合适的具体实施的图示。

[0019] 图9是示出根据一个实施方案的使用基于LSTM的最终位移估计电路的注视预测系统的另一种合适的具体实施的图示。

[0020] 图10是根据一个实施方案的用于操作图9的基于LSTM的最终位移估计电路的例示性步骤的流程图。

[0021] 图11是根据一个实施方案的用于使用基于LSTM的预测网络来确定特征并产生最终位移估计的例示性步骤的图示。

[0022] 图12是根据一个实施方案的图11中所示类型的例示性基于LSTM的预测网络的图示。

[0023] 图13是根据一个实施方案的可用于确定是否发生跳视的概率的例示性基于自动编码器的跳视预测电路的图示。

## 具体实施方式

[0024] 可以为电子设备提供显示器和注视跟踪系统。在某些类型的电子设备中,可能有利的是在宽视角下为用户显示图像。以高分辨率和/或视觉质量覆盖宽视角的显示器可能消耗相对大量的图像数据,消耗大量渲染功率,并且因此可对电子设备施加带宽、功率和计算负担。可通过使用如下显示方案来减轻这些带宽、功率和计算负担:对准用户当前注视点来显示高分辨率(和/或高质量)图像,并在用户的周边视觉中显示低分辨率图像。术语“质量”可指渲染条件(例如,更好的纹理渲染或三角测量)或压缩条件(例如,更强或更弱的量化)。可以在相同分辨率下表现出不同水平的渲染或压缩质量。诸如这些的显示方案有时可被称为中央凹显示方案。

[0025] 可使用注视跟踪(眼睛跟踪)系统来跟踪用户的注视点。该注视跟踪系统可采集有关用户眼睛的信息,诸如关于用户瞳孔中心位置的信息和关于角膜反射位置的信息(也称为Purkinje图像),我们可从中推断用户当前注视的方向。用户当前注视的方向可用于确定用户在显示器上聚焦的位置(用户的屏幕上注视点)。除了注视方向之外,用户在显示器上的关注点可被用作中央凹显示方案的输入,以帮助将用户的当前注视点对准到高分辨率和/或质量的图像区域。

[0026] 包括中央凹显示器和注视跟踪系统的电子设备可包括例如头戴式显示器、透视型增强现实眼镜、蜂窝电话、平板电脑、车辆和其他环境中的平视显示器、膝上型计算机、台式计算机、电视机、手表和其他合适的电子设备。

[0027] 图1中示出了具有中央凹显示器和注视跟踪系统的例示性电子设备的示意图。电子设备10可为头戴式设备(头戴式显示器)、蜂窝电话、平板电脑、平视显示器、膝上型计算机或台式计算机、电视机、手表或其他电子设备。如图1所示,电子设备10可具有控制电路20。控制电路20可包括用于控制设备10的操作的存储和处理电路。电路20可以包括存储设备,诸如硬盘驱动器存储设备、非易失性存储器(例如,被配置为形成固态驱动器的电可编程只读存储器)、易失性存储器(例如,静态或动态随机存取存储器)等。控制电路20中的处理电路可以基于一个或多个微处理器、微控制器、数字信号处理器、基带处理器、功率管理单元、音频芯片、图形处理单元、专用集成电路以及其他集成电路。软件代码可被存储在电路20的存储设备中并运行于电路20中的处理电路上以实施对设备10的控制操作(例如,数据采集操作、涉及使用控制信号调节部件的操作、涉及处理注视跟踪系统数据和与为用户显示的内容相关的数据的操作、涉及预测用户注视点的操作、用于控制中央凹显示器的操作等)。

[0028] 设备10可包括输入-输出电路22。输入-输出电路22可用于允许由设备10从外部设备(例如,拴系或远程/无线计算机、便携式设备诸如手持设备或膝上型计算机,或其他电气设备)接收数据,并且允许用户向设备10提供用户输入。输入-输出电路22还可用于采集有关设备10的操作环境的信息。电路22中的输出部件可允许设备10向用户提供输出,并且可用于与外部电气设备通信。如图1所示,输入-输出电路22可包括显示器诸如显示器14。显示器14可用于为设备10的用户显示图像。显示器14可以是有机发光二极管显示器、液晶显示器、硅上液晶显示器、等离子体显示器、微电子机械系统显示器或任何其他合适的显示器。

[0029] 显示器14可呈现用于计算机生成现实的显示内容,诸如虚拟现实内容或混合现实内容。

[0030] 物理环境是指人们在没有电子系统帮助的情况下能够感测和/或交互的物理世界。物理环境诸如物理公园包括物理物品,诸如物理树木、物理建筑物和物理人。人们能够诸如通过视觉、触觉、听觉、味觉和嗅觉来直接感测物理环境和/或与物理环境交互。

[0031] 相反,计算机生成现实(CGR)环境是指人们经由电子系统感测和/或交互的完全或部分模拟的环境。在CGR中,跟踪人的物理运动的一个子组或其表示,并且作为响应,以符合至少一个物理定律的方式调节在CGR环境中模拟的一个或多个虚拟对象的一个或多个特征。例如,CGR系统可以检测人的头部转动,并且作为响应,以与此类视图和声音在物理环境中变化的方式类似的方式调节呈现给人的图形内容和声场。在一些情况下(例如,出于可达性原因),对CGR环境中虚拟对象的特征的调节可以响应于物理运动的表示(例如,声音命令)来进行。

[0032] 人可以利用其感官中的任一者来感测CGR对象和/或与CGR对象交互,包括视觉、听觉、触觉、味觉和嗅觉。例如,人可以感测音频对象和/或与音频对象交互,该音频对象创建3D或空间音频环境,该3D或空间音频环境提供3D空间中点音频源的感知。又如,音频对象可以使能音频透明度,该音频透明度在有或者没有计算机生成的音频的情况下选择性地引入来自物理环境的环境声音。在某些CGR环境中,人可以感测和/或只与音频对象交互。CGR的示例包括虚拟现实和混合现实。

[0033] 虚拟现实(VR)环境是指被设计成对于一个或多个感官完全基于计算机生成的感官输入的模拟环境。VR环境包括人可以感测和/或交互的多个虚拟对象。例如,树木、建筑物和代表人的化身的计算机生成的图像是虚拟对象的示例。人可以通过在计算机生成的环境内人的存在的模拟、和/或通过在计算机生成的环境内人的物理运动的一个子组的模拟来感测和/或与VR环境中的虚拟对象交互。

[0034] 与被设计成完全基于计算机生成的感官输入的VR环境相比,混合现实(MR)环境是指被设计成除了包括计算机生成的感官输入(例如,虚拟对象)之外还引入来自物理环境的感官输入或其表示的模拟环境。在虚拟连续体上,混合现实环境是完全物理环境作为一端和虚拟现实环境作为另一端之间的任何状况,但不包括这两端。

[0035] 在一些MR环境中,计算机生成的感官输入可以对来自物理环境的感官输入的变化进行响应。另外,用于呈现MR环境的一些电子系统可以跟踪相对于物理环境的位置和/或取向,以使虚拟对象能够与真实对象(即,来自物理环境的物理物品或其表示)交互。例如,系统可以导致运动使得虚拟树木相对于物理地面看起来是静止的。混合现实的示例包括增强现实和增强虚拟。

[0036] 增强现实(AR)环境是指其中一个或多个虚拟对象叠加在物理环境或其表示之上的模拟环境。例如,用于呈现AR环境的电子系统可以具有透明或半透明显示器,人可以透过它直接查看物理环境。该系统可以被配置为在透明或半透明显示器上呈现虚拟对象,使得人利用该系统感知叠加在物理环境之上的虚拟对象。另选地,该系统可以具有不透明显示器和一个或多个成像传感器,成像传感器捕获物理环境的图像或视频,这些图像或视频是物理环境的表示。该系统将图像或视频与虚拟对象组合,并在不透明显示器上呈现组合物。人利用该系统经由物理环境的图像或视频而间接地查看物理环境,并且感知叠加在物理环境之上的虚拟对象。如本文所用,在不透明显示器上显示的物理环境的视频被称为“透视视频”,意味着系统使用一个或多个图像传感器捕获物理环境的图像,并且在通过不透明显示



器呈现AR环境时使用那些图像。进一步另选地,系统可以具有投影系统,该投影系统将虚拟对象投射到物理环境中,例如作为全息图或者在物理表面上,使得人利用系统感知叠加在物理环境之上的虚拟对象。

[0037] 增强现实环境也是指其中物理环境的表示被计算机生成的感官信息进行转换的模拟环境。例如,在提供透传视频中,系统可以对一个或多个传感器图像进行转换以施加与成像传感器所捕获的视角不同的视角(例如,视点)。又如,物理环境的表示可以通过图形地修改(例如,放大)其部分而进行转换,使得修改后的部分可以是原始捕获图像的代表性的但不是真实的版本。又如,物理环境的表示可以通过以图形方式消除或模糊其部分而进行转换。

[0038] 增强虚拟(AV)环境是指其中虚拟或计算机生成的环境结合来自物理环境的一个或多个感官输入的模拟环境。感官输入可以是物理环境的一个或多个特征的代表。例如,AV公园可以具有虚拟树木和虚拟建筑物,但人的脸部是从对物理人拍摄的图像逼真再现的。又如,虚拟对象可以采用一个或多个成像传感器所成像的物理物品的形状或颜色。又如,虚拟对象可以采用符合太阳在物理环境中的位置的阴影。

[0039] 有许多不同类型的电子系统使人能够感测和/或与各种CGR环境交互。示例包括头戴式系统、基于投影的系统、平视显示器(HUD)、集成有显示能力的车辆挡风玻璃、集成有显示能力的窗户、被形成为被设计用于放置于人眼睛上的透镜的显示器(例如,类似于隐形眼镜)、耳机/听筒、扬声器阵列、输入系统(例如,具有或没有触觉反馈的可穿戴或手持控制器)、智能电话、平板电脑和台式/膝上型计算机。头戴式系统可以具有一个或多个扬声器和集成的不透明显示器。另选地,头戴式系统可以被配置为接受外部不透明显示器(例如,智能电话)。头戴式系统可以结合用于捕获物理环境的图像或视频的一个或多个成像传感器、和/或用于捕获物理环境的音频的一个或多个麦克风。头戴式系统可以具有透明或半透明显示器,而不是不透明显示器。透明或半透明显示器可以具有媒介,代表图像的光通过所述媒介被引导到人的眼睛。显示器可以利用数字光投影、OLED、LED、uLED、硅基液晶、激光扫描光源、或这些技术的任意组合。媒介可以是光学波导、全息图媒介、光学组合器、光学反射器、或它们的任意组合。在一个实施方案中,透明或半透明显示器可被配置为选择性地变得不透明。基于投影的系统可以采用将图形图像投影到人的视网膜上的视网膜投影技术。投影系统也可以被配置为将虚拟对象投影到物理环境中,例如作为全息图或在物理表面上。

[0040] 显示器14可用于在完全或部分模拟的环境中向用户显示内容。

[0041] 除了显示器14之外,输入-输出电路22还可包括注视跟踪系统(诸如注视跟踪系统16),并且还可包括头部位置跟踪系统17。注视跟踪(眼睛监测)系统16可以包括图像传感器、光源和/或用于监测用户眼睛的其他设备。注视跟踪系统16可包括例如一个或多个可见和/或红外相机,这些相机面向用户的眼睛并捕捉用户眼睛的图像。头部位置跟踪系统17可包括陀螺仪、加速度计、光源,以及在设备10上联合形成惯性测量单元(IMU)的其他设备,其有助于确定用户的头部运动、旋转或取向。

[0042] 在设备10的操作期间,控制电路20可使用注视跟踪系统16和头部位置跟踪系统17以分别跟踪用户的注视和头部旋转。系统16中的相机和/或其他传感器可例如确定用户眼睛(例如,用户的瞳孔的中心)的位置,并且可确定用户眼睛取向的方向(用户注视的方向,有时称为实测注视点)。通过处理该信息和关于显示器14的位置的信息,可动态地确定用户

的注视点在显示器14上的位置(有时称为用户的屏幕上注视点)。可将关于用户注视当前指向的显示器14上的位置和用户停留在特定屏幕上项目的时间量的信息以及关于用户头部位置的信息(例如,头部是否倾斜、转动或旋转)用作针对系统10的一种形式的用户输入。也可以结合鼠标点击、屏幕轻击和其他触摸屏或跟踪垫触摸手势、语音命令、视频游戏控制器命令和/或其他用户命令,将注视跟踪系统输出和头部跟踪系统输出用作针对设备10的一种形式的用户输入。

[0043] 通过确定用户的注视点,可包括图形处理单元、视频压缩单元和显示器控制电路的中央凹单元102可以花费处理精力来分别在全分辨率和(或)更高质量下渲染和/或压缩对应于注视点在显示器上的部分的视频内容,同时分别在一个或多个逐渐降低的分辨率和/或质量下渲染周边部分。显示器14在用户周边视野中的部分可以被以最低分辨率和/或质量进行渲染,并且显示器14的位于周边区域和与用户注视点重叠的显示器14的部分之间的部分可被以一个或多个中等水平的分辨率和/或质量进行渲染。

[0044] 在操作期间,控制电路20和图形处理单元102可从注视跟踪系统16获得关于用户当前注视点位置的信息并能够相应地渲染要显示的每个图像的不同部分。图形处理单元102可从系统16获得用户的当前注视点,并能够基于这一注视信息,相比于距注视点更远的图像部分,以更高的分辨率和/或质量渲染距注视点最近的图像部分(例如,图形处理单元102可以基于从注视跟踪系统16接收的注视点信息,为显示器14产生中央凹图像数据)。这减少了GPU 102必须为每帧刷新操作执行的处理量(复杂性)。

[0045] 此外,控制电路20和嵌套在单元102之内的视频压缩单元可从注视跟踪系统16获得关于用户当前注视点位置的信息,并能够相应地“压缩”要显示的每个图像的不同部分。在从图形处理单元102发送针对要在显示器14上显示的给定图像的数据之前,视频压缩单元102能够从系统16获得用户的当前注视点,并能够基于这一注视信息,(例如,利用视频或图像压缩)比距注视点更远的图像部分以更高质量压缩距注视点最近的那些图像部分。这减少了从控制电路20到显示器14的带宽量或传输时间量(通常为无线传输)。

[0046] 然而,人的注视会发生从一个固定点偏移到另一个固定点的快速急促运动,这种现象被称为跳视。人眼的跳视运动可能使得图形处理单元102更难渲染与用户的实际注视点保持同步的中央凹图像数据。根据一个实施方案,提供了一种注视预测系统,诸如注视预测系统100,该注视预测系统帮助注视跟踪系统16在跳视期间预测跳视着陆位置(用户的最终注视点)。该注视预测系统100在注视跟踪系统16识别用户在跳视结束时的实际最终注视点之前预测跳视着陆位置。以此方式预测跳视着陆位置有助于图形处理单元102渲染与用户的实际注视点保持同步的中央凹图像数据,这继而减小了用户的当前注视点与显示器14具有较高分辨率的部分之间的潜在不匹配,因此用户将不会感知到任何降低的图像分辨率(或质量)。在图1的示例中,注视预测系统100被示出为控制电路20的一部分。这仅是例示性的。在其他适当的实施方案中,注视预测系统100可被视为输入-输出电路22的一部分或甚至是注视跟踪系统16的一部分。

[0047] 可使用输入-输出设备18中的传感器和其他输入设备来采集用户行为,例如头部旋转或位置信息。输入-输出设备18可包括例如位置和运动传感器(例如,罗盘、陀螺仪、加速度计和/或用于监测设备10的位置、取向和移动的其他设备),可以包括力传感器、温度传感器、触摸传感器、按钮、电容式接近传感器、基于光的接近传感器、其他接近传感器、应变

仪、气体传感器、压力传感器、湿度传感器、磁传感器和其他传感器,并且可包括用于采集语音命令和其他音频输入的音频部件(诸如麦克风),并且可包括用于提供音频输出(例如,用于向用户的左耳和右耳提供声音)的扬声器。如果需要,输入-输出设备18可包括触觉输出设备(例如,振动部件)、发光二极管和其他光源,以及其他输出部件。电路22可包括有线和无线通信电路,该有线和无线通信电路允许设备10(例如,控制电路50)与外部设备(例如,遥控器、操纵杆和其他输入控制器、便携式电子设备、计算机、显示器等)通信,并且允许在头戴式显示器10的不同位置处的部件(电路)之间输送信号。

[0048] 图2是示出注视跟踪系统16可如何采集关于用户眼睛30的眼睛位置信息的图示。在典型的情况下,注视跟踪系统16可以包括用于同时监测两只眼睛(诸如图2的眼睛30)的部件。如图2所示,系统16可包括一个或多个图像传感器,诸如相机24。每个相机24可聚焦在用户的眼睛(诸如眼睛30)的前方,使得能够测量用户的眼睛的特征。可使用一个或多个发光二极管、激光器、灯和/或其他发光部件来形成用于注视跟踪系统16的光源(参见例如光源26)。

[0049] 在操作期间,光源26可发射光28。例如,光源26可朝用户的眼睛30发射多个光束28(例如,2-10个光束、6个光束、4-7个光束、4-9个光束等)。光28可被反射离开眼睛30的表面。相机24可采集眼睛30的图像。控制电路20可使用关于眼睛30的外观的信息(例如,虹膜信息、瞳孔信息、血管信息等)和/或来自角膜32和眼睛30的其他部分的反射光(例如,一个或多个光束)的信息来确定瞳孔34的瞳孔中心36的位置和用户当前注视的方向(注视方向38)。由注视跟踪系统16采集的眼睛位置信息(瞳孔中心信息、眼睛取向、注视方向等)和关于显示器14相对于系统16和眼睛30的位置的信息可由控制电路50用于动态识别用户在显示器14上的注视点。

[0050] 图3中示出了显示在显示器14上的中央凹图像的例示性示例。在图3的示例中,显示器14具有矩形轮廓,该轮廓仅为例示性的。一般来讲,显示器14可具有弯曲或圆形边缘或任何合适的轮廓。基于来自注视跟踪系统16的注视跟踪信息,图形处理单元102可确定用户的当前注视点位于点PG(例如,图3的示例中的显示器14的右上角)。基于这一位置,图形处理单元102可以全分辨率和/或质量渲染图3的区域R1(与PG重叠的区域)中的图像数据。可以降低的分辨率和/或质量(例如,全分辨率的1/4)来渲染周边图像数据(例如,图3的区域R3的图像数据)。可以中间分辨率和/或质量来渲染位于全分辨率区域R1和降低分辨率区域R3之间的中间区域(例如,参见显示器14在全分辨率的1/2下的区域R2)。一般来讲,在为设备10中的显示器14渲染中央凹图像数据时可以使用任何适当数量的不同分辨率和/或质量。在图3的示例中使用具有三种相应不同分辨率和/或质量的三个不同区域仅是例示性的。

[0051] 当用户查看显示器14上的可见内容时,注视点位置PG将跳至显示器14上的不同区域。单元102内的图形处理单元、显示器控制电路和视频压缩单元将需要调节用不同分辨率和/或质量渲染图像数据的高分辨率和/或质量和低分辨率和/或质量区域的位置,以与用户的当前注视点位置保持同步。在图3的示例中,考虑用户的注视点从初始点PG跳到最终点PG\*的情形。跳视的最终点PG\*有时被称为跳视着陆位置。跳视可能相当快,所以如果不小心,注视跟踪系统就不能准确地跟踪用户的注视以及可能假定用户的当前注视位置在点300处。PG\*和点300之间的这种不匹配可能是由于注视跟踪和显示电路的有限的眼睛到渲

染延迟导致的。利用诸如图1的注视预测系统100的注视预测系统,可实时确定更精确的注视位置,如点302处的预测注视位置所示,该位置更靠近PG\*。通过这种方式减轻眼睛到渲染延迟(有时称为注视跟踪延迟)降低了“可见中央凹错误”的风险。

[0052] 图4是示出用于检测跳视的方法的时序图。控制电路20连续监测眼睛运动的速度。可基于跳视开始之后的位移和跳视开始之后的时间来计算眼睛运动速度。可根据每秒钟眼睛位移的度数(例如,图3中注视位置38改变的度数 $\theta$ )来测量眼睛运动速度。曲线400表示相对于示例性跳视的时间绘制的眼睛运动速度。如图4所示,曲线400在时间 $t_1$ 超过跳视开始阈值水平(开始\_Thres),在时间 $t_2$ 超过跳视检测阈值水平(检测\_Thres),然后在时间 $t_3$ 降低到跳视结束阈值水平(结束\_Thres)。可由时间 $t_1$ (曲线400超过开始阈值时)和时间 $t_3$ (曲线400降低到结束阈值之下时)之间的时间段定义跳视持续时间T跳视。

[0053] 一般来讲,注视跟踪系统16采集的眼睛跟踪数据可能噪声相当大,因此对数据滤波可帮助确定何时实际需要注视预测。可通过设定在注视跟踪系统16确认发生有效跳视之前必须要满足的条件来实现适当的滤波。在一种合适的布置中,注视跟踪系统16可确定仅在时间 $t_1$ (当曲线400超过开始阈值时)和时间 $t_2$ (当曲线400超过检测阈值时)之间的时间段 $\Delta T$ 超过预先确定的持续时间时才必须执行注视预测。

[0054] 例如,可将开始阈值设定为80度/秒,可将检测阈值设定为100度/秒,并且可将预先确定的持续时间设定为30ms。换句话说,检测到的眼睛运动速度将必须超过100度/秒,向后阈值为80度/秒,并且必须持续至少30ms,然后注视检测系统16才能验证为有效的跳视。

[0055] 图5为用于在具有中央凹显示器14的设备10中执行注视预测的例示性步骤的流程图。在步骤500处,注视跟踪系统16可生成眼睛运动或注视位移数据,这些数据被馈送到注视预测系统100。注视预测系统100可分析所接收的注视位移数据以检测必须执行注视预测的情况或情形。

[0056] 图4中仅在 $\Delta T$ 超过某个预先确定的持续时间才激活预测的示例仅仅是激活预测系统必须要满足的若干条件的一种。另一个条件可能需要T跳视大于另一个预先确定的量,这个量可以是 $\Delta T$ 的至少2倍, $\Delta T$ 的至少3倍, $\Delta T$ 的至少4倍,等等。注视预测必须要满足的其他示例性条件可包括:将注视点沿(本来理想平直的)跳视路径允许的角度偏差限制到 $30^\circ$ ,将T跳视限制到不超过150ms,要求眼睛运动以某一误差裕量严格单调增大等。不过,如果注视行为是眨眼的部分或部分的眼睑闭合、平滑追寻眼睛运动(SPEM)或眼睛运动轨迹似乎偏离理想模型化情况的某种其他意外状况,则不应当执行注视预测。例如,如果眼睛运动是直向下或直向上的,角度介于 $80^\circ$ - $120^\circ$ 之间,位移速度超过700度/秒,则可检测到眨眼。这些数字仅是例示性的。精确的阈值可取决于所用眼睛跟踪设备的制造和精确度。平滑追寻眼睛运动是这样一种场景,其中眼睛平滑地跟踪在屏幕中移动的特定对象,这不同于跳视。意外情况可包括训练期间未观察到的场景,或眼睛轨迹不同于预期的情况(例如,如果眼睛轨迹已不再是S形函数)。

[0057] 响应于检测到有效的跳视运动并且确定必须执行注视预测,注视预测系统100可使用注视预测模型来预测最终的跳视着陆位置,以帮助减少注视跟踪延迟并减小用户的“可见中央凹误差”。一般来讲,注视预测模型可由具有训练注视数据的大离线数据集来创建,或者可以利用来自用户的过往注视数据来连续细化。注视预测模型可包括多个较小的局部模型或子模型,用于准确地预测针对不同类型的跳视运动的跳视着陆位置。

[0058] 图6是示出用于实现注视预测系统100的一种合适建模方法的图示。如图6所示,注视预测系统100可包括初始位移估计电路(诸如初始位移估计电路600)、决策边界确定和查找电路(诸如决策边界确定和查找电路602)、以及最终位移估计电路(诸如最终位移估计电路604)。

[0059] 初始位移估计电路600可从注视跟踪系统16接收注视位移和定时信息,该注视位移和定时信息允许注视预测系统100准确地随时间跟踪跳视开始之后的注视位移量。电路600可使用所接收的注视位移信息(即,从注视开始的位移)和所接收的定时信息(即,跳视开始之后的时间)来生成眼睛运动速度作为电路602的输出。电路600可进一步被配置为通过使用一般S形函数(例如)对所有跳视建模来输出初始位移估计Dest:

$$[0060] \quad \text{Dest} = d * (1 + e^{at + H(t) + b}) \quad (1)$$

[0061] 其中d表示注视位移输入,并且其中t表示跳视开始后的时间。H(t)表示函数,该函数的值取决于头部运动速度沿眼睛跳视方向的分量。在最简单的情况下,函数H(t)可简单地等于零,在这种情况下,头部运动的效应被完全忽略。在其他情况下,H(t)的值可能取决于头部运动速度沿跳视方向的分量。呈基本形式的S形函数是一个有界的、可微分的实值函数,它是为所有实输入值定义的,并且在每个点都具有非负的导数。方程式(1)的一般S形函数具有一组可用于计算Dest的粗略参数[a,b]。可对训练数据或用户数据使用回归方法来确定粗略参数[a,b]。可由电路600使用的回归方法包括线性回归、逻辑回归、多项式回归、逐步回归、脊回归、套索回归和其他合适的技术。如果需要,可使用机器学习来实现这些回归技术。以这种方式计算的估计Dest可表示对跳视着陆位置的粗略估计。

[0062] 方程式(1)用于对跳视行为建模的上述示例仅是例示性的。一般来讲,可使用其他函数对跳视建模,诸如凸起余弦函数、Gompertz函数、双曲正切函数、反正切函数、Guddermannian函数、平滑插值函数、伽玛函数、Oculomotor Plant模型和/或其他逻辑函数。

[0063] 决策边界确定和查找电路602可从电路600接收初始Dest和眼睛运动速度,并且还可从头部跟踪系统17接收头部旋转信息。图7A是将注视位移绘示为跳视开始之后时间的函数的图示。如图7A所示,曲线702、704、706、708和710可表示不同的跳视运动,每一个可被建模为S形函数。例如,曲线702可具有最终跳视位移D1;曲线704可具有最终跳视位移D2;曲线706可具有最终跳视位移D3;等等。图7A的位移曲线可从离线训练数据集和/或从过往用户数据获得。

[0064] 图7A中仅示出五条不同曲线的示例仅为例示性的。一般来讲,可使用数百条或甚至数千条曲线来对电路602建模。如果沿着第三轴线绘制,这些曲线通过其最终跳视位移值,可共同形成诸如如图7B所示表面的表面748。具体地讲,电路602可被配置为通过首先在训练阶段期间确定这些区域中的每一个的边界来将表面748分成多个组(参见例如区域750-1、750-2、750-3、750-4、750-5等)。可由电路602使用的数据分组或聚类方法包括k均值聚类、模糊c均值聚类、分级聚类、高斯混合模型和其他合适的技术。图7B的基于从跳视开始的位移、跳视开始后的时间和最终位移值的三维聚类仅是例示性的。如果需要,聚类可包括通过考虑头部位置跟踪系统产生的头部旋转信息来包括第四维度,以进一步细化模型来提高准确性。

[0065] 电路602可使用朴素的无监督方法进行训练。此处,对于在电路602的输出处生成

的误差Err1没有给予任何重要性,并且上述三维表面748中的附近区域被一起分组到单个决策空间(读作索引)。在电路602被训练之后,电路602能够将所接收的Dest映射到多个区域中的特定区域。不同区域中的每一个可被分配相应的索引,索引被提供为电路602的输出。因此,以这种方式操作以输出索引的电路602有时被称为查找电路。

[0066] 然后可使用不同的子模型(例如,作为不同的S形函数)对不同区域750中的每一个建模。对应于不同局部区域的不同S形函数均具有其自己的一组精细参数[a,b]。可通过向训练数据或过往用户数据应用回归技术来确定精细参数[a,b]。可由电路604使用的回归方法包括线性回归、逻辑回归、多项式回归、逐步回归、脊回归、套索回归和其他合适的技术。如果需要,可使用机器学习来实现这些回归技术。

[0067] 通过最大程度地减少误差 $Err2 = [D^*(i) - D_{train}(i)]^2$ ,可将嵌套在电路604内的每个子模型“i”单独训练为独立的块,其中 $D_{train}(i)$ 是针对该块预期的标注位移。 $D_{train}(i)$ 是从训练数据集获得的或使用来自相同观察者的过往注视数据。另一方面, $D^*(i)$ 是电路当前为该块的成员在其当前被训练状态中产生的实际位移值。这个训练过程从而为子模型的每个计算精细参数a和b。在电路604被训练之后,电路604能够使用所接收的索引“i”(对应于一个单个嵌套的子模型)来查找对应的精细参数[a,b],然后计算最终位移估计 $D^*$ 。然后,以此方式计算的最终位移估计 $D^*$ 可与其他注视数据(例如,注视运动的方向和跳视的起始位置)组合,以预测最终的跳视着陆位置。然后,单元102(图1)之内的图形处理单元、视频压缩单元和显示控制电路可使用该信息来调节要渲染的中央凹图像数据的高分辨率区域和低分辨率区域的位置,以更好地与用户的当前注视点保持同步。

[0068] 图8为示出注视预测系统100的另一个合适的具体实施的图示。如图8所示,注视预测系统100可包括决策边界确定电路(诸如决策边界确定电路800),以及最终位移估计电路(诸如最终位移估计电路802)。决策边界确定电路800可从注视跟踪系统16接收注视位移和定时信息并从系统17接收头部旋转信息,这些信息允许注视预测系统100随时间跟踪跳视开始之后的注视位移量。

[0069] 与其中电路602(无监督)和604(受监督)被分别训练的图6的实施方案相比,图8的电路800和802被一起或联合训练,如由误差反馈路径810所指出(例如,通过在训练期间最小化总体误差Err')。换句话讲,可将最终框802产生的估计 $D^*$ 与来自训练数据集的预期位移( $D_{train}$ )比较,以计算误差度量: $(D^* - D_{train})^2$ 。这继而是框800和802一起使用时存在缺陷的指示符。因此,联合优化过程可用于对框800中的聚类过程和框802中的回归一起进行“监督训练”。在训练阶段期间,电路800可被配置为使用各种数据分组或聚类方法将数据集(例如,训练数据或过往用户数据)组织到不同组中,以确定不同组的决策边界,这可包括支持矢量聚类、内核k均值聚类和其他合适的技术。例如,电路800可将数据集分成至少10个不同的群集、至少20个不同的群集、至少30个不同的群集等。

[0070] 在训练阶段期间,电路802可被配置为针对由电路800所组织的不同群集中的每一个来确定一组精细参数[a,b]。可通过向数据集(例如,训练数据或过往用户数据)应用回归技术来确定精细参数[a,b]。可由电路802使用的回归方法包括线性回归、逻辑回归、多项式回归、逐步回归、脊回归、套索回归和其他合适的技术。

[0071] 在某些实施方案中,可使用机器学习技术来训练电路800和802,诸如使用基于神经网络的学习者(例如,卷积神经网络、循环神经网络,诸如长短期记忆网络、前馈神经网络

络、径向基函数神经网络等)。通过同时/联合训练电路800和802,可将由电路800确定的决策边界和由电路802确定的精细参数一起调谐,以帮助最大程度地减小误差 $Err'$ ,这可有助于提高注视预测的总体准确性。

[0072] 在电路800和802被训练之后,位移和定时信息可在正常用户操作期间被馈入注视预测系统,并且电路802将计算对应的最终位移估计 $D^*$ 。然后,以此方式计算的最终位移估计 $D^*$ 可与其他注视数据(例如,注视运动的方向、头部旋转信息和跳视的起始位置)组合,以预测最终的跳视着陆位置。然后,单元102(图1)之内的图形处理单元、视频压缩单元和显示控制电路可使用该信息来调节要渲染的中央凹图像数据的高分辨率/质量区域和低分辨率/质量区域的位置,以更好地与用户的当前注视点位置保持同步。

[0073] 图6和图8中基于使用位移和定时信息以及头部旋转信息作为主要输入来训练注视预测系统100的实施方案仅是例示性的。如果需要,在预测跳视轨迹时可用于进一步优化模型精确度的其他输入特征可以包括考虑数据、用户疲劳、特定用户特征、头部位置/旋转信息等中的长期和短期依赖性。

[0074] 图9是注视预测系统100的示意图,该注视预测系统包括基于长短期记忆(基于LSTM)的最终位移估计电路902。基于LSTM的最终位移估计电路902有助于注视跟踪系统16在跳视期间预测跳视着陆位置(用户的最终注视点)。注视预测系统100在注视跟踪系统16识别用户在跳视结束时的实际最终注视点之前预测跳视着陆位置。以此方式预测跳视着陆位置有助于图形处理单元102渲染与用户的实际注视点保持同步的中央凹图像数据,这继而减小了用户的当前注视点与显示器14具有较高分辨率的部分之间的潜在不匹配,因此用户将不会感知到任何降低的图像分辨率(或质量)。

[0075] 基于LSTM的最终位移估计电路902可接收注视位移信息、头部运动信息、图像数据、事件类型(描述什么类型的眼睛/头部运动,诸如跳视、平滑追寻、前庭-眼动反射、视动性眼球震颤、眨眼等)和疲劳信息。可从注视跟踪系统16接收注视位移信息(有时称为注视位置信息)。系统16中的相机和/或其他传感器可例如确定用户眼睛(例如,用户的瞳孔的中心)的位置,并且可确定用户眼睛取向的方向(用户注视的方向,有时称为实测注视点)。可提供关于用户眼睛的位置和用户眼睛取向方向的信息作为针对基于LSTM的最终位移估计电路的输入。

[0076] 头部位置信息可从头部位置跟踪系统17接收。向基于LSTM的最终位移估计电路902提供头部位置信息的头部位置跟踪系统17可包括陀螺仪、加速度计、光源和在设备10上共同形成惯性测量单元(IMU)的其他设备。头部位置信息可帮助确定用户的头部运动、旋转或取向。

[0077] 还可提供图像数据作为针对基于LSTM的最终位移估计电路902的输入。图像数据可以是提供给电子设备10中的显示器14以呈现给电子设备的用户的图像数据。可分析图像数据以帮助估计跳视的最终位移。图像数据可提供关于感兴趣的对象在显示器上的位置以及显示器上的内容类型的信息。这些因素可影响跳视的最终着陆位置(例如,因为跳视更可能终止于显示器上的感兴趣对象上)。

[0078] 基于LSTM的最终位移估计电路902还可接收疲劳信息作为输入。跳视趋势可能受到用户疲劳的影响。例如,用户跳视的频率可能随着用户的疲劳而改变,每次跳视的长度可能随着用户的疲劳而改变。疲劳信息可包括自用户开始使用电子设备以来所经过的时间长



度(例如,电子设备在当前使用会话中已被使用的时间量)。疲劳可与用户已使用电子设备的时间长度成正比。与疲劳相关的附加信息(例如,用户在设定时间段内在多个会话中使用电子设备的总时间长度,关于用户睡眠模式的信息等)也可由基于LSTM的最终位移电路接收。

[0079] 使用所接收的信息,基于LSTM的最终位移估计电路可输出最终位移估计 $D^*$ 。最终位移估计 $D^*$ 可估计跳视的总位移(或跳视的总剩余位移)。然后,可将此信息与其他注视位置信息(例如,注视运动的方向和跳视的起始位置)组合,以预测最终的跳视着陆位置。最终跳视着陆位置可由中央凹单元102用于为对应于最终跳视着陆位置的显示器区域渲染高分辨率图像数据。

[0080] 基于LSTM的最终位移估计电路902还可输出与最终位移估计 $D^*$ 相关联的不确定性值。不确定性值可以是最终位移估计的不确定性的数值评估。不确定性可由中央凹单元102用于渲染要显示的图像数据。例如,所渲染的高分辨率图像数据的量可受最终位移估计的不确定性影响。如果不确定性较低,则以高确定度知道用户注视点的着陆位置,并可以仅针对这个已知着陆位置渲染高分辨率图像数据。如果不确定性较高,则用户注视点的着陆位置可能是显示器更大区域之内的任何位置。可利用高分辨率图像数据渲染显示器的这一更大部分以提高用户注视点的着陆位置在具有高分辨率的显示器部分上的概率。一般来讲,不确定性可由中央凹单元102以任何所需的方式使用,以影响为显示器渲染的图像数据。

[0081] 图10是可用于操作图9所示类型的基于LSTM的最终位移估计电路的例示性方法步骤的图示。如图10所示,基于LSTM的最终位移电路可在步骤1002处采集信息。采集信息可包括采集注视位置信息(例如,来自注视跟踪系统16)、采集头部位置信息(例如,来自头部位置跟踪系统17)、采集图像数据和采集疲劳信息。

[0082] 在步骤1002中采集信息之后,可在步骤1004中进行预处理和事件检测/分类。事件检测/分类可包括识别不同的眼睛/头部运动类型,诸如固定、跳视、平滑追寻、前庭-眼球反射(VOR)、眨眼、视动性眼球震颤(OKN)等。预处理可包括对所接收的信息进行初始处理以将数据置于用于进一步分析的更好格式中。例如,如果注视跟踪系统或头部位置跟踪系统的采样率可变,可以进行数据插值以填充任何缺失的数据点或以规则间隔放置样本。数据可被滤波以使数据平滑(例如,使用Savitzky-Golay滤波器、中值滤波器、指数移动平均值、双边滤波器、小波信号降噪滤波器或任何其他所需类型的滤波器)。可获得数据的移动平均值以帮助使数据平滑。也可以执行降采样和/或上采样。可在预处理步骤期间确定一些初始属性。例如,可使用在步骤1002处采集的原始注视位置信息在步骤1004的预处理期间确定用户眼睛的位置、速度和加速度。

[0083] 使用预处理的数据,还可在步骤1004处进行事件检测/分类。在事件检测/分类中,可评估数据来确定是否正在发生跳视。某些眼睛运动可涉及不同于跳视的眼睛运动(例如,平滑追寻眼睛运动)。可能发生导致缺失数据点(例如,眨眼、部分眼睑闭合或极端角度观察)但与跳视不同的其他事件。为了准确地根据需要预测用户的注视点,重要的是要识别是否正在发生跳视或前述行为的另一种。当发生跳视时,可使用基于LSTM的预测网络来识别跳视的着陆位置。然而,如果未发生跳视,基于LSTM的预测网络可能不能做出精确预测并因此不可使用。基于LSTM的预测网络还可任选地预测相对较慢的眼睛运动,诸如平滑追寻、VOR和/或OKN。



[0084] 如图10所示,如果在步骤1004处未检测到跳视,则该方法可前进至步骤1010。在步骤1010处,基于LSTM的最终位移估计电路可绕过步骤1006和1008的附加处理,并且简单地将当前注视点输出到中央凹单元102。因为未发生跳视或快速眼睛运动,所以当前注视点位置可以是用于中央凹单元的注视点的默认估计。

[0085] 如果在步骤1004识别出跳视,可使用来自步骤1004的预处理数据确定附加特征。每个特征可以是可随后被机器学习预测网络使用的可独立测量的属性或特征。通常,可在步骤1006中确定任何所需数量的特征。特征可基于时间关系、显示器内的内容变化、跳视动态和/或注视点的空间位置。

[0086] 使用在步骤1006中确定的特征,基于LSTM的预测网络可在步骤1008估计跳视的最终位移和相关联的不确定性。然后可在步骤1012处将该信息提供给中央凹单元102。在步骤1012处确定的不确定性和最终位移可由中央凹单元102用于渲染要显示的图像数据。

[0087] 图11是示出了用于在图10所示类型的基于LSTM的最终位移估计电路中为基于LSTM的预测网络确定特征的详细步骤的图示。如在步骤1102处所示,所接收的注视位置信息、头部位置信息、图像数据和疲劳信息可首先被同步。同步数据可涉及使用一个或多个缓冲器。一旦数据已同步,则可执行附加的预处理步骤。

[0088] 图11中的步骤1104、1106、1108、1110和1112可全部被视为预处理步骤(例如,图10中的步骤1004)。在步骤1104处,可以对所接收的数据进行滤波。可首先向所接收的数据(例如,所接收的注视位置信息)应用平滑滤波器,诸如Savitzky-Golay滤波器、中值滤波器、指数移动平均值、双边滤波器、小波信号降噪滤波器或任何其他所需类型的滤波器。如果需要,还可对头部位置信息进行滤波。

[0089] 在步骤1106处,可使用头部位置信息来确定用户的头部的旋转轴线。所接收的头部位置信息可包括三个旋转参数和三个平移参数。为了减少所接收的头部位置信息的维度数量,在步骤1106中确定用户的头部移动的轴线。

[0090] 在步骤1108处,可分析图像数据以识别使用图像数据呈现的内容的类型。例如,图像数据可识别所呈现的内容的类型是基于文本的还是基于图像的。与查看基于文本的内容相关联的跳视动态可不同于与查看图像内容相关联的跳视动态,因此分析显示器上的内容可帮助改善最终位移估计。可使用任何所需的图像处理技术在步骤1108中分析图像数据。

[0091] 在步骤1110处,可使用注视位置信息(例如,在图10的步骤1002期间采集的原始注视位置数据)来确定用户的注视点相对于显示器的绝对位置。也可在步骤1110处使用原始注视位置数据来确定用户眼睛的速度和加速度。用户注视点相对于显示器的绝对位置可能会影响可能出现的跳视类型。例如,如果注视点位于显示器的中心,则跳视趋势可不同于注视点位于显示器边缘处的情况。

[0092] 在步骤1112处,可执行事件检测/分类概率分析。事件检测/分类概率分析可确定发生跳视的概率。可能存在需要超过给定阈值以识别正在发生的跳视。阈值可为90%、95%、80%、75%、70%和98%之间、大于99%、大于95%、大于90%、大于80%、大于70%、大于60%、大于50%、50%和95%之间、小于99%等。如上文结合图10的步骤1004所述,如果未检测到跳视(例如,如果所确定的跳视概率低于阈值),则将当前的注视位置提供给中央凹单元102以供进一步处理。然而,如果所确定的概率超过了阈值,则识别为发生了跳视。但如果如果没有检测到跳视而是检测到平滑追寻、VOR或OKN,可以将这一事件标签连同其他特征传

递到LSTM预测网络以做出预测。

[0093] 如果识别出发生跳视,可为基于LSTM的预测网络1128确定附加特征。在步骤1110中确定的用户注视点的绝对位置可为基于LSTM的预测网络1128所使用的特征。可在步骤1114、1116、1118、1120、1122、1124和1126中确定附加特征。

[0094] 如图11所示,在步骤1114处,可使用可用信息(例如,眼球在头部中的方向和位置信息、头部在世界中的方向和位置信息等)来识别聚散运动。聚散是两只眼睛在相反方向上的同时移动。基于LSTM的预测网络可使用有关是否正在发生聚散的信息来做出最终位移估计。

[0095] 在步骤1116处,可以获得跳视历史。跳视历史可包括有关由用户执行的最后N次跳视的信息。跳视历史可包括任何所需数量的N次先前跳视(例如,超过一次、超过十次、超过一百次、超过一千次、超过一万次、少于一万次等)。每个历史跳视数据点可包括关于跳视的位移距离、位移方向和位移时间的信息,以及自跳视发生以来所经过的时间。如果需要,可对最近发生的跳视施加更多的权重。除了跳视历史之外,还可存储其他类型的眼睛/头部运动的历史,并将其用于通知预测网络。

[0096] 在步骤1118处,可以确定跳视方向。可通过比较当前注视点与先前注视点(例如,前30毫秒之内的注视点)来确定跳视方向。可通过估计跳视开始时的注视点和当前注视点之间的方向来确定跳视方向。可以假定跳视发生在直线上。另选地,也可在LSTM预测网络中使用随时间推移的跳视曲率来提高预测精度。

[0097] 用户头部的头部位置信息和旋转轴线可用于在步骤1120处识别轴线失配和投影头部速度。轴线失配可指与用户的头部相关联的旋转轴线和与用户眼睛相关联的旋转轴线之间的失配。

[0098] 如果在图像数据中识别出基于图像的内容(而不是基于文本的内容),则可执行步骤1122和1124。在步骤1122处,可使用所接收的图像数据来生成显著图。显著图可用于识别所显示内容之内的感兴趣视觉项目。显著图可识别诸如可选择按钮、文本和感兴趣视觉项目的项目。显著图可以是突出显示感兴趣视觉特征的概率密度图。

[0099] 在步骤1124处,可识别所显示图像数据之内的对象。例如,可执行图像分割以识别所显示内容中的感兴趣对象。识别图像数据中的对象可在预测用户的跳视着陆位置时有用。如果跳视发生在感兴趣对象的方向上,有可能跳视的最终着陆位置将处在感兴趣对象的位置。

[0100] 如果图像数据示出正在使用显示器呈现主要基于文本的内容,则可以省略步骤1122和1124。相反,可在步骤1126处应用阅读模型。阅读文本时的眼部运动行为(包括跳视)可能遵循已知的模式。例如,用户可能会逐行扫描文本,并且在给定行的末尾与后续行的开头之间有跳视。因此,用户可能阅读显示器上的文本(以及文本的位置)的事实可为提供给基于LSTM的预测网络1128的附加特征。

[0101] 此外,可将疲劳信息提供给基于LSTM的预测网络。如前所述,疲劳信息可包括自用户开始使用电子设备以来所经过的时间长度(例如,电子设备在当前使用会话中已被使用的时间量)。与疲劳相关的附加信息(例如,用户在设定时间段内使用电子设备的多个会话的总时间长度,关于用户睡眠模式的信息等)也可被提供给基于LSTM的预测网络。眨眼频率(例如,用户每分钟眨眼的次数)也可被用作疲劳的指标。眨眼频率也可被提供给基于LSTM

的预测网络。

[0102] 图11中提供给基于LSTM的预测网络1128的特征的示例仅为例示性的。通常,基于LSTM的预测网络可使用任何所需数量的特征,以产生具有相应不确定性的最终位移估计输出。作为一些示例,特征可涉及时间关系、内容变化、跳视动态或空间位置。时间关系可考虑所有特征的短期和长期依赖性。可考虑任何所需数量的过往跳视以导出关于跳视趋势的信息。内容变化可以指分析图像数据以确定用户可能观看显示器的哪些部分。跳视动态包括分析跳视眼睛运动的速度曲线,识别聚散眼睛运动,以及获得关于跳视期间眼睛运动的其他信息。空间位置包括用户注视点的绝对位置,该位置用于准确地预测跳视的着陆位置。

[0103] 基于LSTM的预测网络1128可接收各种特征,并且可基于所接收的特征生成最终位移估计 ( $D^*$ ) 和对应的不确定性。基于LSTM的预测网络1128是基于机器学习的预测。可使用大型离线数据集训练基于LSTM的预测网络。例如,离线数据集可包括对应于已知是跳视的眼睛运动的原始数据(例如,注视位置信息、头部位置信息、图像数据、事件标签和疲劳信息)。该数据集可包括每个跳视的已知着陆位置,该位置被用作预测网络的标注。基于LSTM的预测网络可包括在训练期间被细化以使预测网络预测与标注最终位移匹配的最终位移估计 $D^*$ 的众多参数。基于LSTM的预测网络(有时称为注视预测模型)也可在使用来自用户的过往注视数据操作电子设备期间被训练。例如,一旦跳视完成,就知道了该跳视的最终着陆位置(和最终位移)。这一最终着陆位置和跳视的原始数据可用于对模型参数进行额外细化(利用已知的最终着陆位置充当标注)。

[0104] 基于LSTM的预测网络通过在不同时间步之间共享信息来表征。例如,在分析给定时间点的数据时使用先前时间点的数据。基于LSTM的预测网络进一步通过在特征之间共享信息来表征。如图12所示,基于LSTM的预测网络1128包括输入层1202,该输入层在给定时间 $T_N$ 接收特征作为输入。在一个示例中,输入层可包括13个神经元。该示例仅为例示性的,并且输入层可具有任何所需数量的神经元(例如,介于10和20个之间、大于5个、大于10个等)。

[0105] 可从输入层1202向长短期记忆(LSTM)层1204提供特征。LSTM层可包括64个单元并且可具有随机失活。该示例仅为例示性的,并且LSTM层可具有任何所需数量的单元(例如,大于20个、大于40个、大于60个、大于80个、大于100个、小于100个、介于20和100个之间等)。随机失活是指基于预先确定的概率从激活中排除LSTM单元,以减少过度拟合并改善模型性能。每个LSTM单元可从在输入层1202处接收的每个特征接收信息。LSTM单元还可接收关于来自先前时间点的特征的信息,诸如来自时间 $T_{N-1}$ 的特征。在时间 $T_N$ 来自LSTM单元的信息可由LSTM单元在后续时间(例如,在 $T_{N+1}$ )使用。

[0106] 来自LSTM层的信息最终被提供给完全连接层1206。完全连接层1206可具有与前一层的所有神经元的连接。完全连接层可向回归层1208和固有数据不确定性框1210提供输出。回归层1208可用于确定最终位移估计 $D^*$ 。可由回归层1208使用的回归方法包括线性回归、逻辑回归、多项式回归、逐步回归、脊回归、套索回归和其他合适的技术。另外,不确定性可由固有数据不确定性框1210确定。从基于LSTM的预测网络输出的总不确定性可考虑由模型本身引起的不确定性(有时称为模型不确定性)和数据中的固有不确定性(有时称为固有数据不确定性)。

[0107] 可使用任何所需的技术来估计模型不确定性。在一个示例中,可使用称为Monte Carlo随机失活的变分推断技术来估计模型的不确定性。在具有无限训练数据和训练时间

的理想条件下,模型不确定性将接近零。然而,在实践中,模型不确定性是不可忽视的。固有数据不确定性是与数据本身相关联的不确定性。跳视可能会在少于100毫秒的总时间长度内发生。一般来讲,跳视不超过100毫秒。在跳视开始时,在预测最终的跳视着陆位置时可能会有更多的不确定性。换句话说,数据中存在随机性,使得相同的输入数据可产生不同的最终结果。跳视进行得越长,固有数据不确定性降低得就越多。不确定性估计器1210可输出与最终位移估计相关联的总不确定性,同时考虑模型不确定性和固有数据不确定性。

[0108] 可使用基于机器学习的算法来执行,或者可在不使用机器学习的情况下执行(例如,使用信号处理方法)事件检测/分类(例如,图11中的步骤1112)。在信号处理方法中,可处理注视位置信息(例如,从图11中的步骤1110接收的绝对位置)以确定跳视发生的概率。信号处理可包括将当前眼睛运动与已知的跳视行为进行比较。例如,跳视可能会发生于特定已知时间长度内(例如,少于100毫秒),因此持续时间长于特定毫秒阈值(例如,100毫秒或某个其他阈值)的眼睛运动可以被确定为不是跳视。在跳视之间可能存在不应期,这意味着在前一次跳视之后特定时间长度之内不能发生跳视。加速度、角度偏差和眼睛注视点位置全部可用于评估跳视的概率。

[0109] 在上述基于信号处理的事件检测/分类概率分析的替代方案中,也可使用基于机器学习的事件检测/分类概率分析。换句话说,使用机器学习训练的模型可用于确定发生跳视的概率。可使用被训练为对跳视编码的自动编码器模型执行跳视检测。自动编码器是一种人工神经网络,它通过减小数据的维度来将数据编码到潜在空间中,然后从潜在空间中对数据进行解码。对自动编码器进行训练,以将其输出匹配到输入,以及从而如何最佳地编码潜在表示中输入的分布。

[0110] 图13是基于自动编码器的跳视检测电路1302的示意图。如图所示,基于自动编码器的跳视检测电路可接收诸如注视位置信息和头部位置信息的信息。如果需要,还可接收其他信息,诸如图像数据和疲劳信息。基于该信息,基于自动编码器的跳视检测电路可输出发生跳视的概率。

[0111] 可使用来自已知跳视的数据训练基于自动编码器的跳视检测电路1302中的自动编码器。在自动编码器接收到类似于训练数据的分布的数据时(例如,在发生跳视时),自动编码器可能能够对数据进行很好的编码。然而,如果自动编码器接收到与训练数据分布不同的数据(例如,来自除跳视之外的眼睛运动),自动编码器将不能很好地对数据编码。自动编码器不能有效地处理并非来自跳视的数据被利用来检测是否在发生跳视。

[0112] 因此训练自动编码器对跳视眼睛运动进行编码。自动编码器可接收已被滤波以减小信号噪声的数据或可接收未经滤波的数据(例如,未经滤波的注视位置信息和未经滤波的头部位置信息)。可使用变分推断技术,诸如Monte Carlo随机失活不确定估计,来表征自动编码器关于新输入是来自与初始训练数据相同的统计分布(例如,新输入来自跳视)还是来自与初始训练数据不同的统计分布(例如,新输入不来自跳视)的不确定性。基于自动编码器的跳视检测电路1302中的不确定性估计框可估计输入来自跳视的概率(例如,输出正在发生跳视的概率)。

[0113] 图11中在确定诸如特征1114、1116等特征之前进行事件检测/分类的表示仅是示例性的。一般来讲,一旦输入数据(例如,注视位置信息)可用,就可以在任何期望点进行事件检测/分类。

[0114] 在前述实施方案中的若干个中,已经描述了估计跳视位移 $D^*$ 的布置。应当理解,可以容易地从跳视位移 $D^*$ (使用跳视的开始点和跳视方向)导出最终跳视着陆位置。通常,注视预测系统可(例如,从图11中基于LSTM的预测网络1128)输出跳视中剩余的预测距离的任何或全部、跳视的预测总距离和预测的跳视着陆位置。

[0115] 如上所述,本技术的一个方面在于采集和使用信息,诸如来自输入-输出设备的信息。本公开构想,在一些情况下,可采集包括唯一地识别或可用于联系或定位特定人员的个人信息的数据。此类个人信息数据可包括人口统计数据、基于位置的数据、电话号码、电子邮件地址、twitter ID、家庭地址、与用户的健康或健身等级相关的数据或记录(例如,生命信号测量结果、药物信息、锻炼信息)、出生日期、用户名、口令、生物识别信息、或任何其他识别信息或个人信息。

[0116] 本公开认识到在本发明技术中使用此类个人信息可用于使用户受益。例如,该个人信息数据可用于递送用户较感兴趣的目标内容。因此,使用此类个人信息数据使得用户能够对所递送的内容进行有计划的控制。此外,本公开还预期个人信息数据有益于用户的其他用途。例如,健康和健身数据可用于向用户的总体健康状况提供见解,或者可用作使用技术来追求健康目标的个人的积极反馈。

[0117] 本公开设想负责采集、分析、公开、传输、存储或其他使用此类个人信息数据的实体将遵守既定的隐私政策和/或隐私实践。具体地,此类实体应当实行并坚持使用被公认为满足或超出对维护个人信息数据的隐私性和安全性的行业或政府要求的隐私政策和实践。此类策略应该能被用户方便地访问,并应当随着数据的采集和/或使用变化而被更新。来自用户的个人信息应当被收集用于实体的合法且合理的用途,并且不在这些合法使用之外共享或出售。此外,应在收到用户知情同意后,进行此类采集/共享。此外,此类实体应考虑采取任何必要步骤,保卫和保障对此类个人信息数据的访问,并确保其他有权访问个人信息数据的人遵守其隐私政策和流程。另外,这种实体可使其本身经受第三方评估以证明其遵守广泛接受的隐私政策和做法。此外,应当调整政策和实践,以便采集和/或访问的特定类型的个人信息数据,并适用于包括管辖范围的具体考虑的适用法律和标准。例如,在美国,某些健康数据的收集或访问可能受诸如健康保险流通与责任法案(HIPAA)的联邦和/或州法律的约束,而其他国家的健康数据可能受其他法规 and 政策的约束,并且应相应地加以处理。因此,在每个国家应为不同的个人数据类型保持不同的隐私实践。

[0118] 不管前述情况如何,本公开还预期用户选择性地阻止使用或访问个人信息数据的实施方案。即本公开预期可提供硬件元件和/或软件元件,以防止或阻止对此类个人信息数据的访问。例如,本技术可被配置为允许用户在注册服务期间或其后随时选择参与采集个人信息数据的“选择加入”或“选择退出”。又如,用户可选择不提供特定类型的用户数据。再如,用户可以选择限制保持用户特定数据的时间长度。除了提供“选择加入”和“选择退出”选项外,本公开设想提供与访问或使用个人信息相关的通知。例如,可在下载应用(“app”)时向用户通知其个人信息数据将被访问,然后就在个人信息数据被应用访问之前再次提醒用户。

[0119] 此外,本公开的目的是应管理和处理个人信息数据以最小化无意或未经授权访问或使用的风险。一旦不再需要数据,通过限制数据采集和删除数据可最小化风险。此外,并且当适用时,包括在某些健康相关应用中,数据去标识可用于保护用户的隐私。在适当的情

况下,可以通过移除特定标识符(例如,出生日期等)、控制存储的数据的量或特征(例如,在城市级而非地址级收集位置数据)、控制数据的存储方式(例如,在用户之间聚合数据)和/或其他方法来促进去标识。

[0120] 因此,虽然本公开广泛地覆盖了使用可包括个人信息数据的信息来实现一个或多个各种所公开的实施方案,但本公开还预期各种实施方案也可在无需访问个人信息数据的情况下被实现。即,本发明技术的各种实施方案不会由于缺少此类个人信息数据的全部或一部分而无法正常进行。

[0121] 根据一个实施方案,提供了一种电子设备,该电子设备包括被配置为产生注视点信息的注视跟踪系统、被配置为基于注视点信息输出具有不同分辨率或质量的区域的图像的显示器、以及被配置为分析由注视跟踪系统产生的注视点信息以随后预测跳视着陆位置的注视预测系统,该显示器被配置为基于预测的跳视着陆位置来更新图像。

[0122] 根据另一个实施方案,该电子设备包括被配置为产生头部旋转信息的头部位置跟踪系统,该注视预测系统被进一步配置为分析来自头部位置跟踪系统的头部旋转信息以随后预测和细化跳视着陆位置。

[0123] 根据另一个实施方案,该注视预测系统被配置为通过检查是否满足一组条件来检测何时必须执行注视预测。

[0124] 根据另一个实施方案,该注视点信息包括眼睛运动速度,并且该注视预测系统被配置为通过识别眼睛运动速度何时越过预先确定的阈值水平来检测何时必须执行注视预测。

[0125] 根据另一个实施方案,当注视点信息指示眨眼、平滑追寻眼睛运动(SPEM)或部分眼睑闭合时,该注视预测系统不执行注视预测。

[0126] 根据另一个实施方案,该注视预测系统包括决策边界确定电路,该决策边界确定电路被配置为接收注视点信息和头部旋转信息,并且将所接收的注视点信息点和头部旋转信息映射到多个模型中的所选择的模型。

[0127] 根据另一个实施方案,该注视预测系统包括估计电路,该估计电路被配置为计算用于预测跳视着陆位置的估计注视位移值。

[0128] 根据另一个实施方案,通过向数据集应用无监督聚类过程来训练决策边界确定电路。

[0129] 根据另一个实施方案,通过向数据集应用回归过程来训练估计电路,该决策边界确定电路和估计电路是被联合训练的。

[0130] 根据另一个实施方案,该电子设备包括初始位移估计电路,该初始位移估计电路被配置为接收注视点信息以产生初始估计注视位移值;决策边界确定和查找电路,该决策边界确定和查找电路被配置为从初始位移估计电路接收初始估计注视位移值和眼睛运动速度,从头部位置跟踪系统接收头部旋转信息,将所接收的初始注视位移值、眼睛运动速度和头部旋转信息映射到多个模型中的所选择的模型中,并且输出与所选择的模型相关联的对应索引;以及最终位移估计电路,该最终位移估计电路被配置为从决策边界确定和查找电路接收索引并且计算用于预测跳视着陆位置的对应最终估计注视位移值;通过向数据集应用回归过程来训练初始位移估计电路和最终位移估计电路,并且通过向数据集应用聚类过程来训练决策边界确定和查找电路。

[0131] 根据另一个实施方案,该注视预测系统被配置为基于注视点信息并基于来自头部跟踪系统的头部位置信息来预测跳视着陆位置。

[0132] 根据另一个实施方案,该注视预测系统被配置为基于注视点信息并基于用于显示器的图像数据来预测跳视着陆位置。

[0133] 根据另一个实施方案,该注视预测系统被配置为将图像数据分类为基于图像的内容和基于文本的内容中的所选择的一种。

[0134] 根据另一个实施方案,该注视预测系统被配置为基于注视点信息并基于疲劳信息来预测跳视着陆位置。

[0135] 根据另一个实施方案,该疲劳信息包括电子设备已被使用的时间长度。

[0136] 根据另一个实施方案,该注视预测系统包括基于长短期记忆的(基于LSTM的)预测网络,该预测网络被配置为预测跳视着陆位置。

[0137] 根据另一个实施方案,该基于LSTM的预测网络包括输入层、长短期记忆(LSTM)层、完全连接层、被配置为预测跳视着陆位置的回归层,以及被配置为输出与预测的跳视着陆位置相关联的不确定性的不确定性估计器。

[0138] 根据一个实施方案,提供了一种操作电子设备的方法,包括电子设备中的注视跟踪系统产生注视数据,电子设备上的显示器利用电子设备中的注视预测系统输出具有不同分辨率区域的图像,使用注视数据预测跳视着陆位置以及基于预测的跳视着陆位置调节显示器上不同分辨率区域的位置。

[0139] 根据另一个实施方案,该方法包括使用电子设备中的头部跟踪系统来产生头部旋转数据,注视预测系统使用注视数据和头部旋转数据来预测跳视着陆位置。

[0140] 根据另一个实施方案,该方法包括使用决策边界确定电路从注视跟踪系统接收注视数据并从头部跟踪系统接收头部旋转数据,随后基于所接收的注视数据和头部旋转数据来识别多个模型中的所选择的模型,使用估计电路利用与所选择的模型相关联的参数来计算估计位移值。

[0141] 根据另一个实施方案,该方法包括联合训练决策边界确定电路和估计电路,联合训练决策边界确定电路和估计电路包括在通过回归过程训练估计电路的同时通过聚类过程训练决策边界确定电路。

[0142] 根据另一个实施方案,该方法包括使用注视数据来预测跳视着陆位置,这包括从电子设备之内的头部位置跟踪系统接收头部位置数据,接收图像数据,处理注视数据、头部位置数据和图像数据以预测多个特征,以及利用注视预测系统中的基于长短期记忆(基于LSTM)的预测网络,基于多个特征来预测跳视着陆位置。

[0143] 根据另一个实施方案,包括基于自动编码器的跳视检测电路,至少基于注视数据来确定跳视概率。

[0144] 根据另一个实施方案,该方法包括响应于确定跳视概率低于阈值,使用来自注视数据的当前注视点作为跳视着陆位置。

[0145] 根据一个实施方案,提供了一种电路,该电路包括显示器,该显示器被配置为输出具有高分辨率或质量区域以及围绕高分辨率或质量区域的逐渐降低分辨率或质量的一个或多个区域的图像,高分辨率或质量区域与用户的注视点重叠;注视跟踪系统,该注视跟踪系统被配置为跟踪用户的注视点,用户的注视点从跳视开始时的第一关注点移动到跳视结

束时的第二关注点；头部跟踪系统，该头部跟踪系统被配置为跟踪用户头部的位置；注视预测系统，该注视预测系统被配置为预测跳视着陆位置以在注视跟踪系统检测第二注视点之前估计第二注视点。

[0146] 根据另一个实施方案，该注视预测系统包括基于聚类的决策边界确定电路，该电路被配置为从注视跟踪系统接收位移和定时信息并从头部跟踪系统接收头部旋转信息，以随后将接收的位移和定时信息映射到多个模型中的所选择的模型；以及基于回归的最终位移估计电路，该电路被配置为使用与所选择的模型相关联的参数计算最终注视位移估计，该最终注视位移估计用于预测跳视着陆位置。

[0147] 根据另一个实施方案，该注视预测系统包括基于回归的初始位移估计电路，该电路被配置为从注视跟踪系统接收位移和定时信息以产生初始注视位移估计；基于聚类的决策边界确定和查找电路，该电路被配置为从基于回归的初始位移估计电路接收初始注视位移估计，并从头部跟踪系统接收头部旋转信息，以将所接收的初始注视位移估计和头部旋转信息映射到多个模型中的所选择的模型，并且输出与所选择的模型相关联的对应索引，以及基于回归的最终位移估计电路，该电路被配置为从决策边界确定和查找电路接收索引并计算用于预测跳视着陆位置的对应最终注视位移估计。

[0148] 前述内容仅为例示性的并且可对所述实施方案作出各种修改。前述实施方案可独立实施或可以任意组合实施。

[0149] 本专利申请要求2019年4月5日提交的美国专利申请16/376,329以及2018年5月7日提交的美国临时专利申请62/668,124的优先权，这些专利申请据此全文以引用方式并入本文。



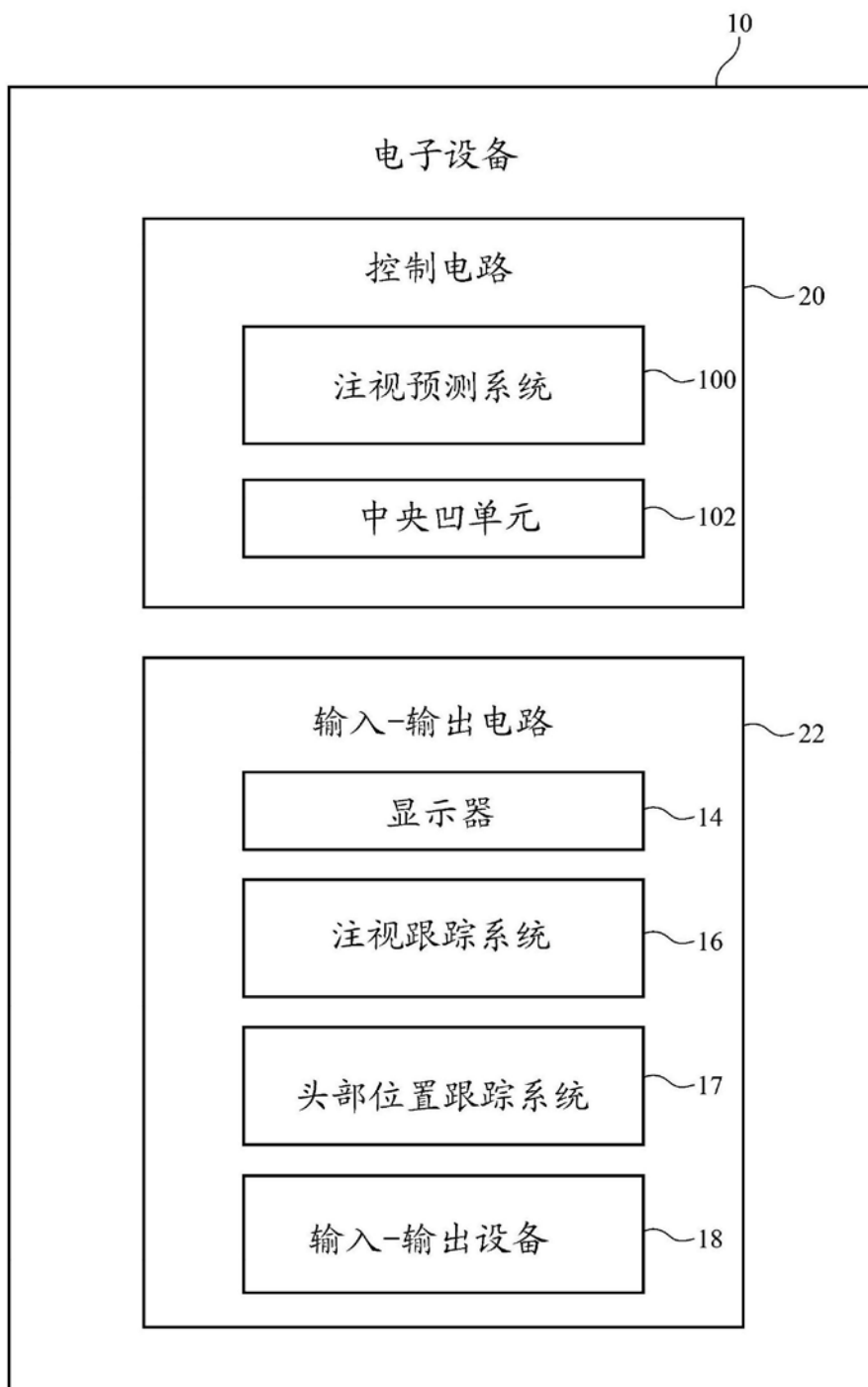


图1

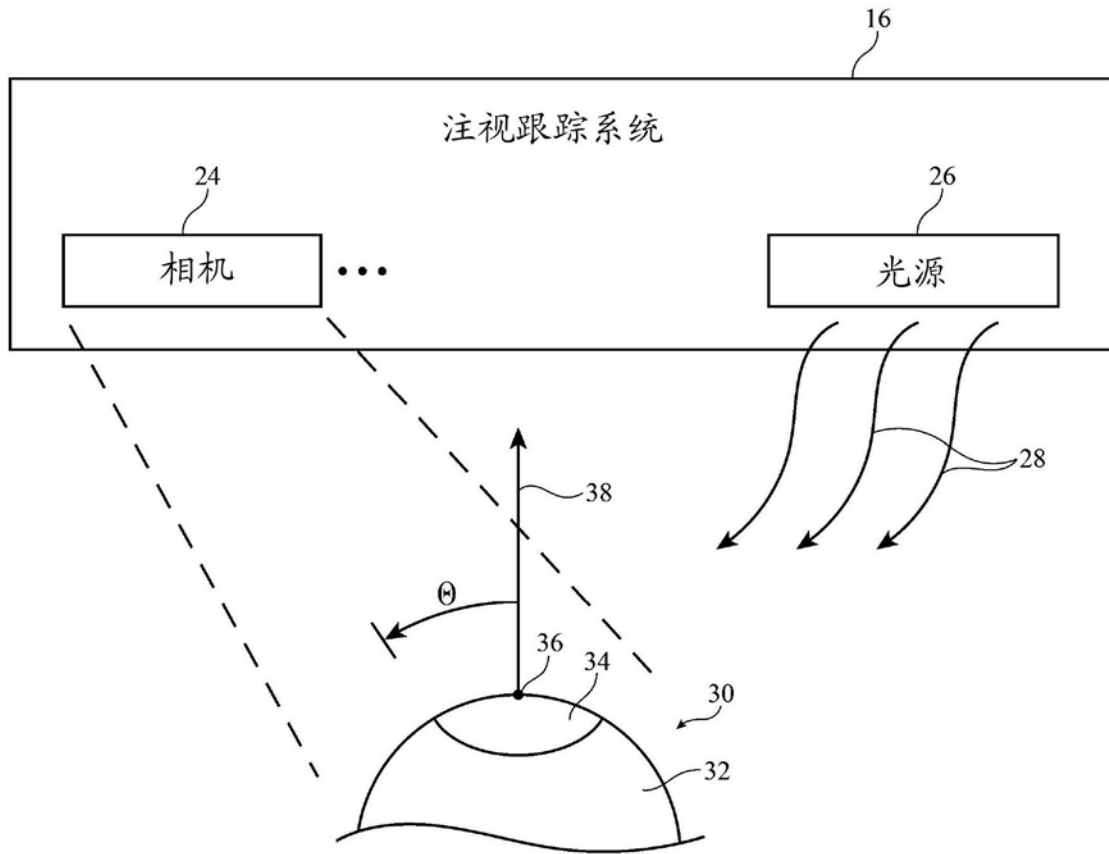


图2

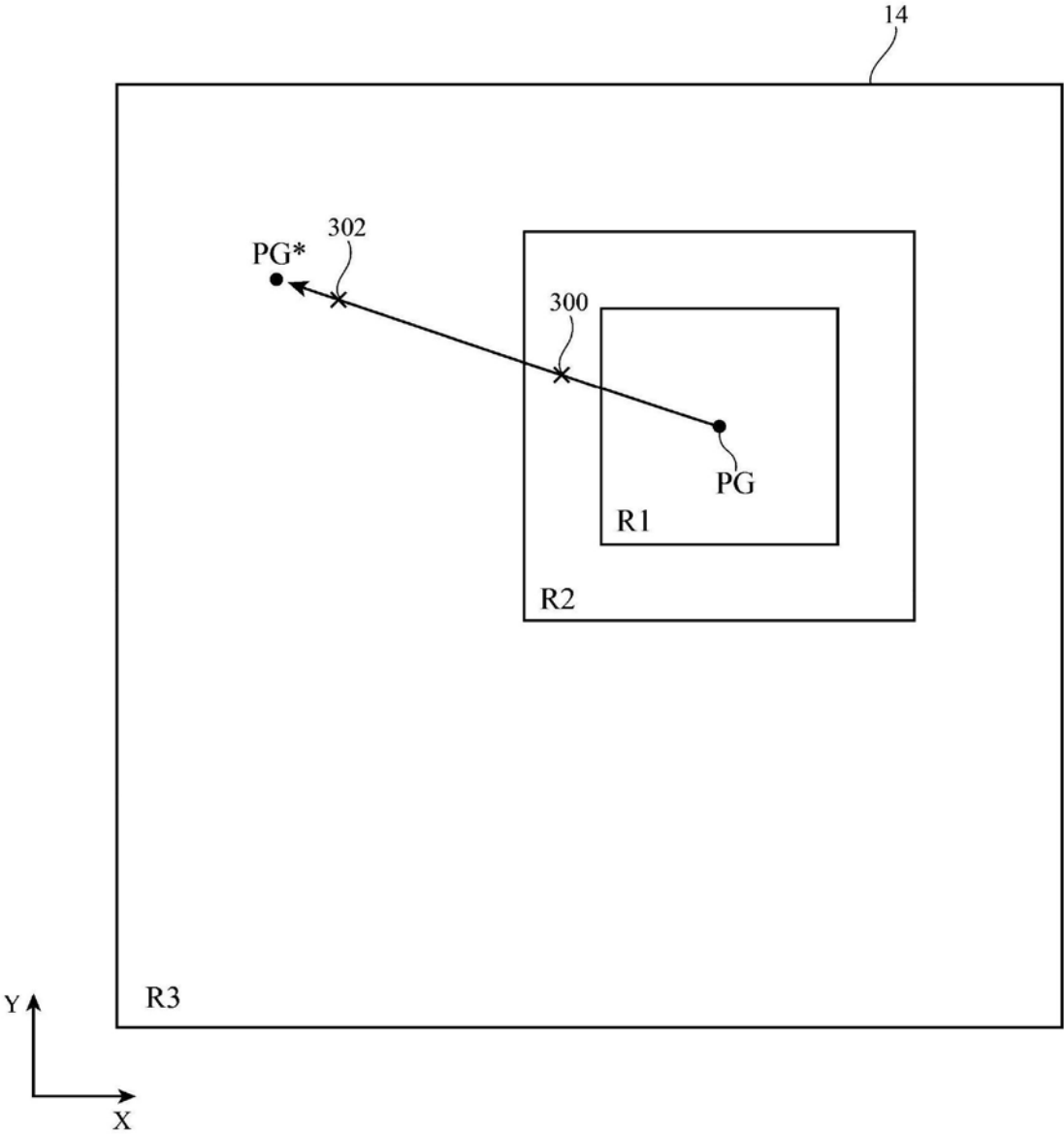


图3

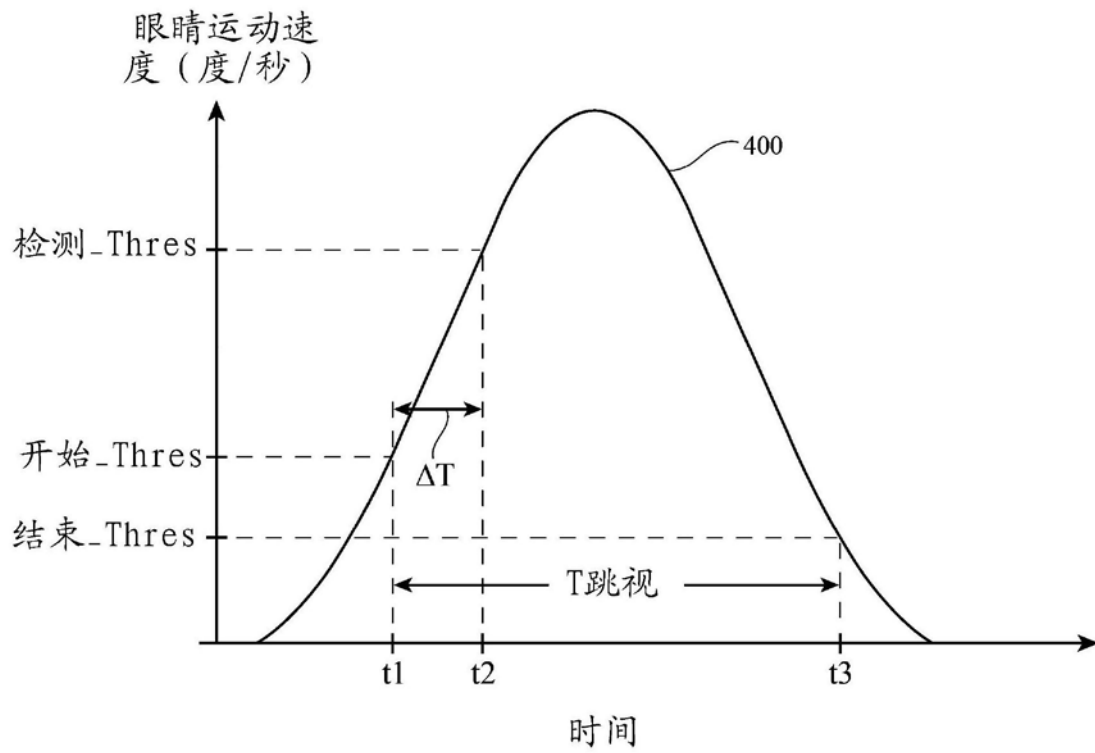


图4

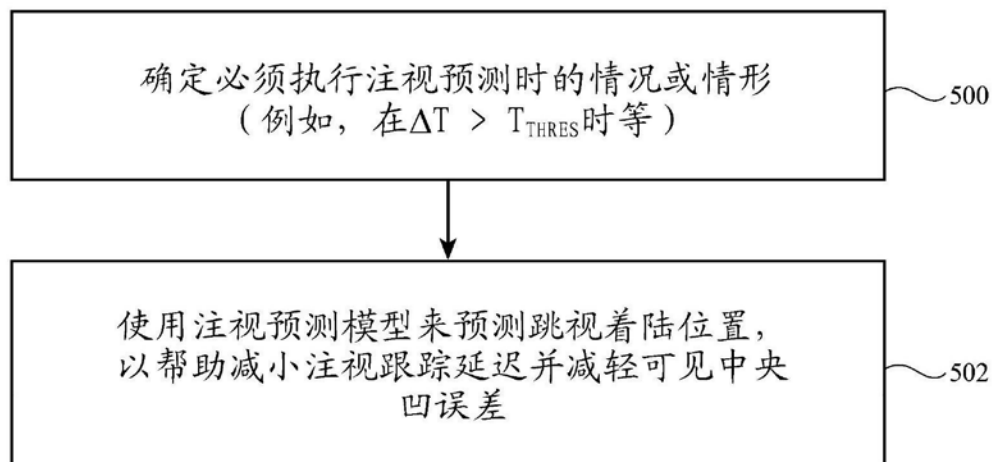


图5

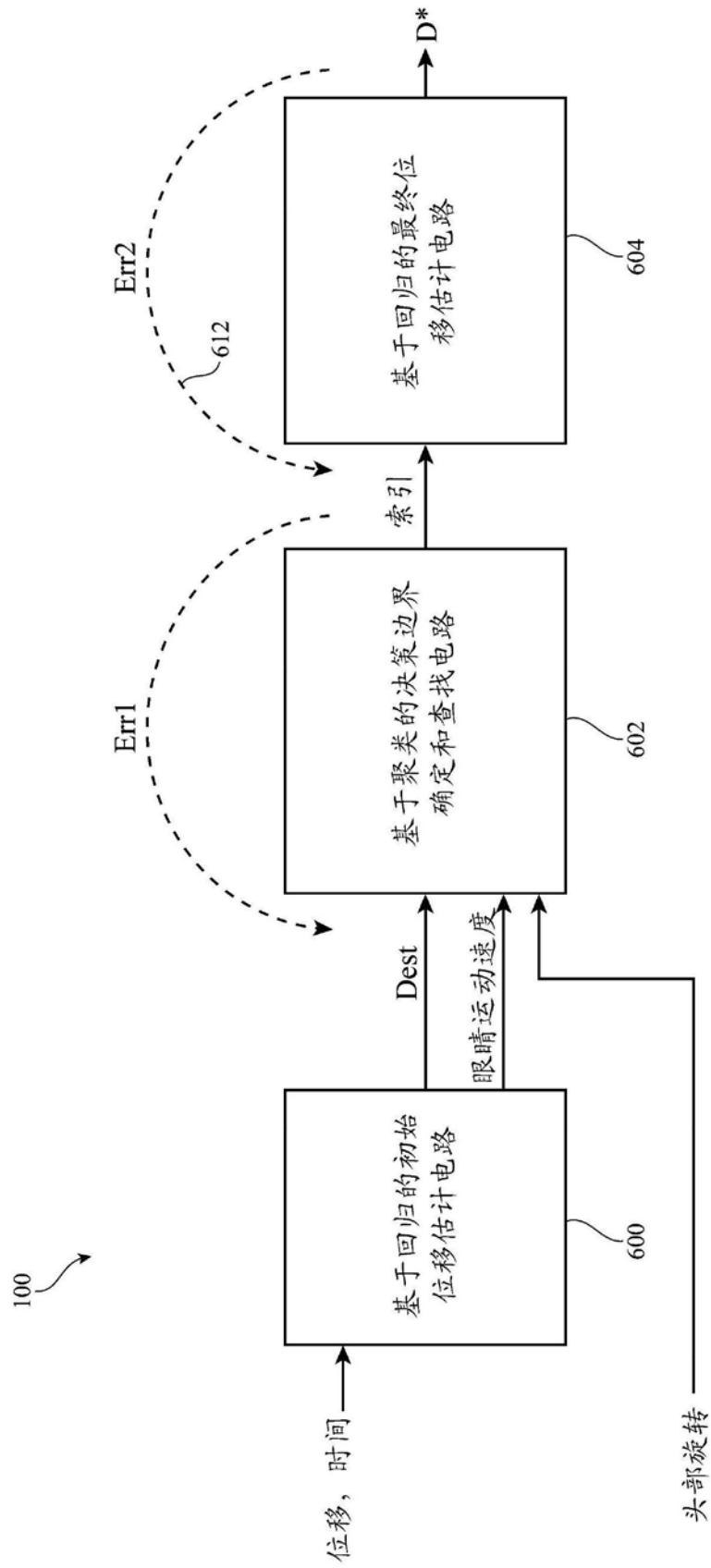


图6

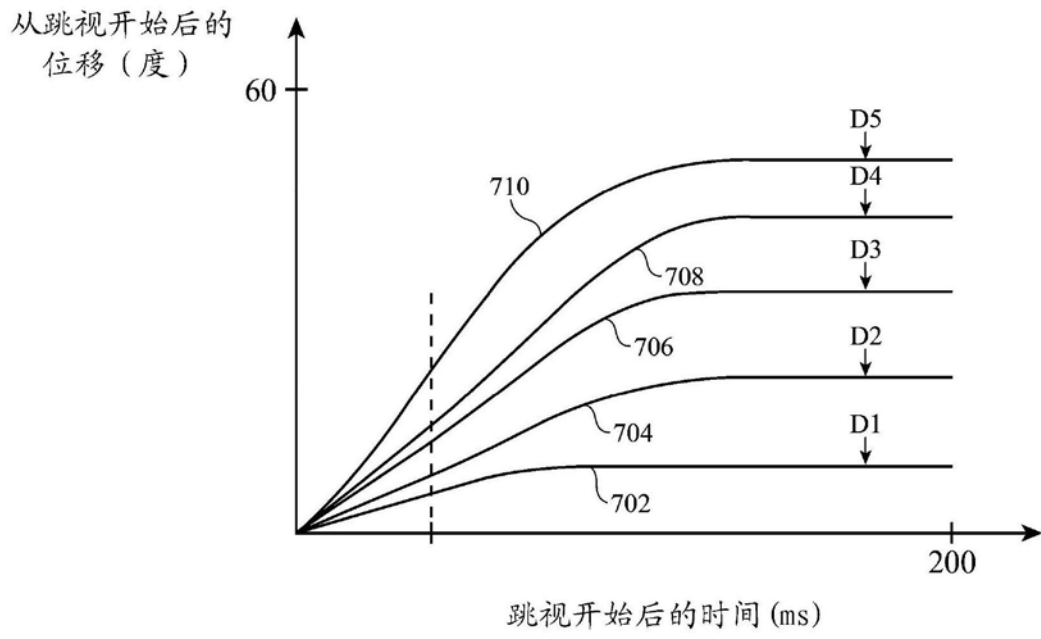


图7A

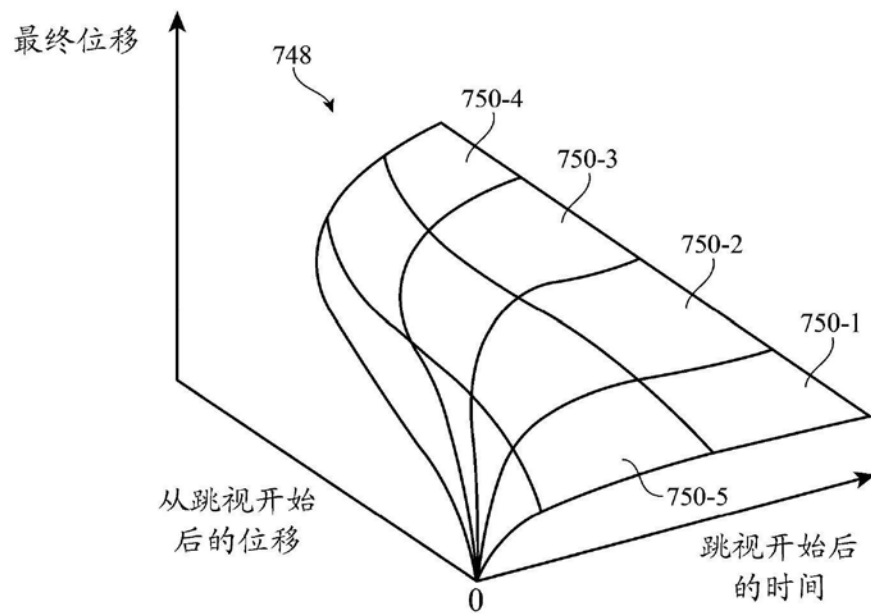


图7B

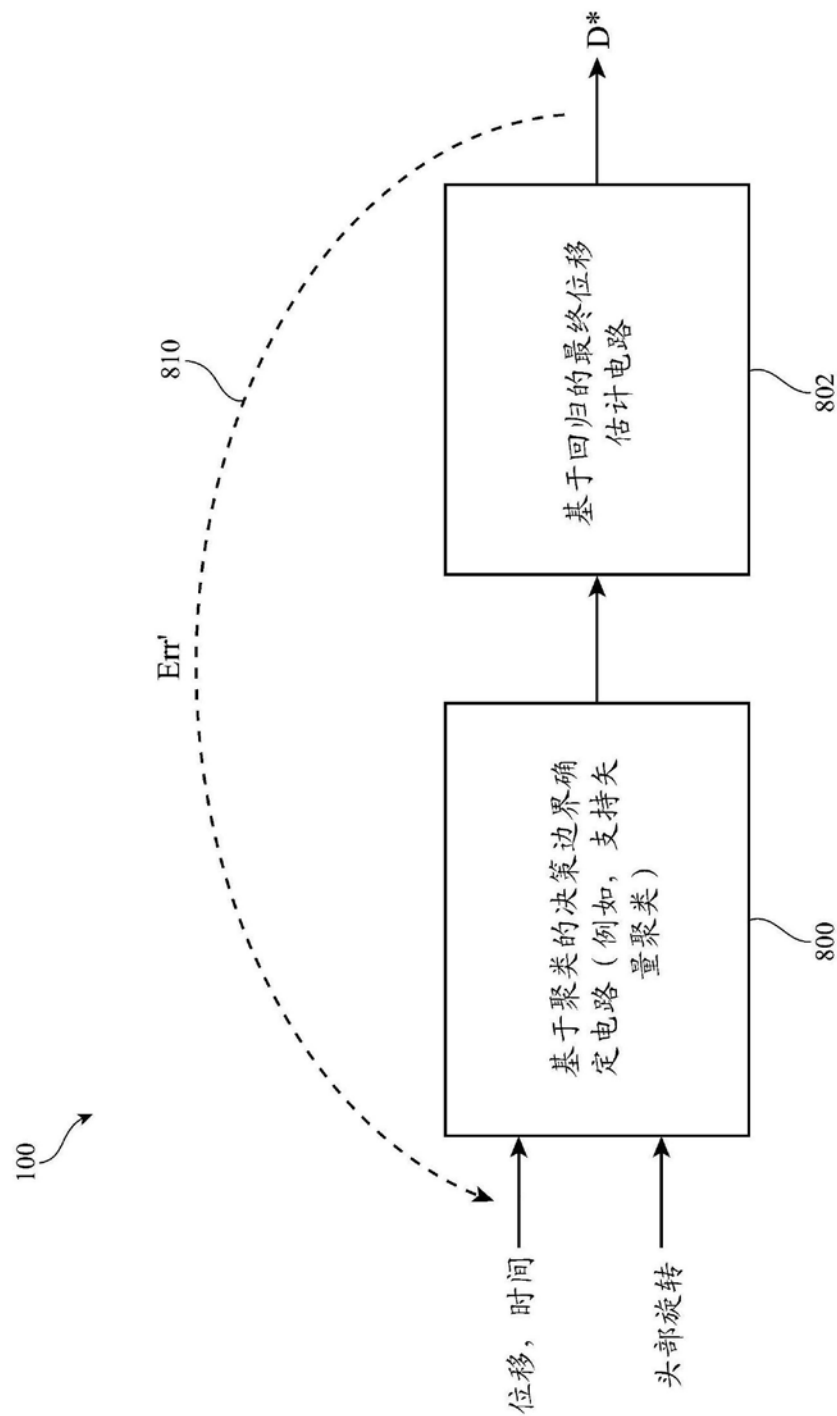


图8

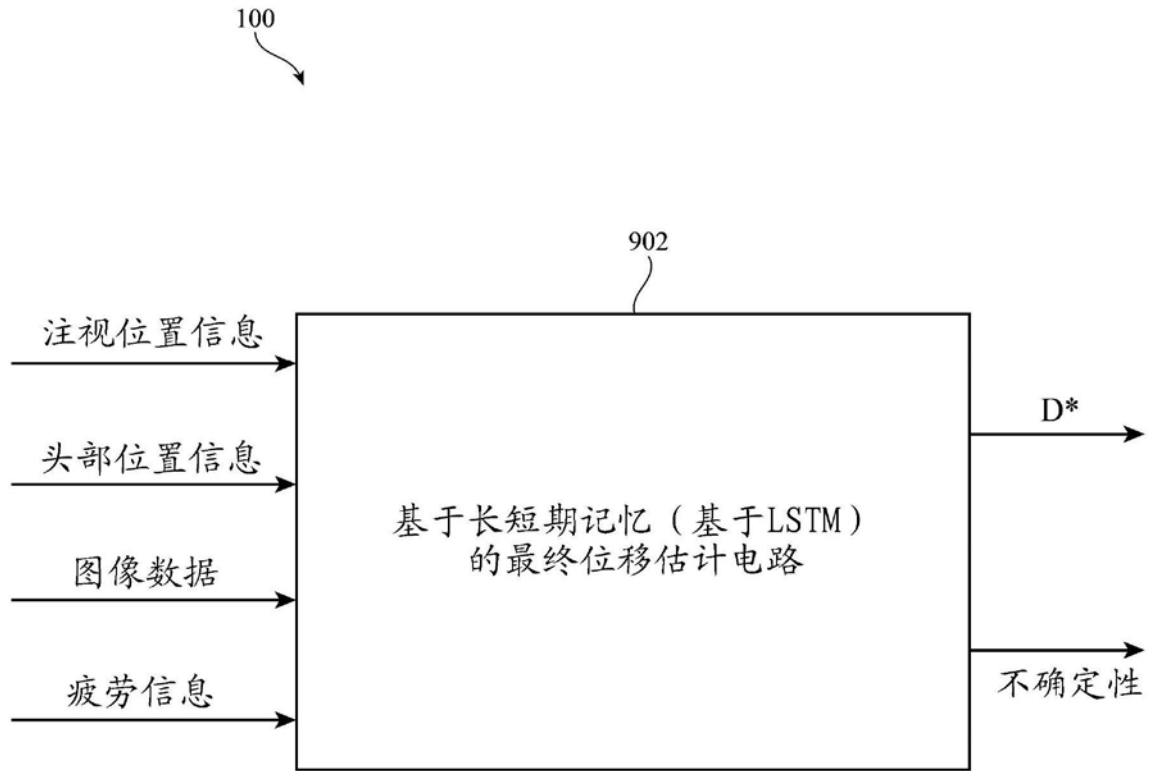


图9



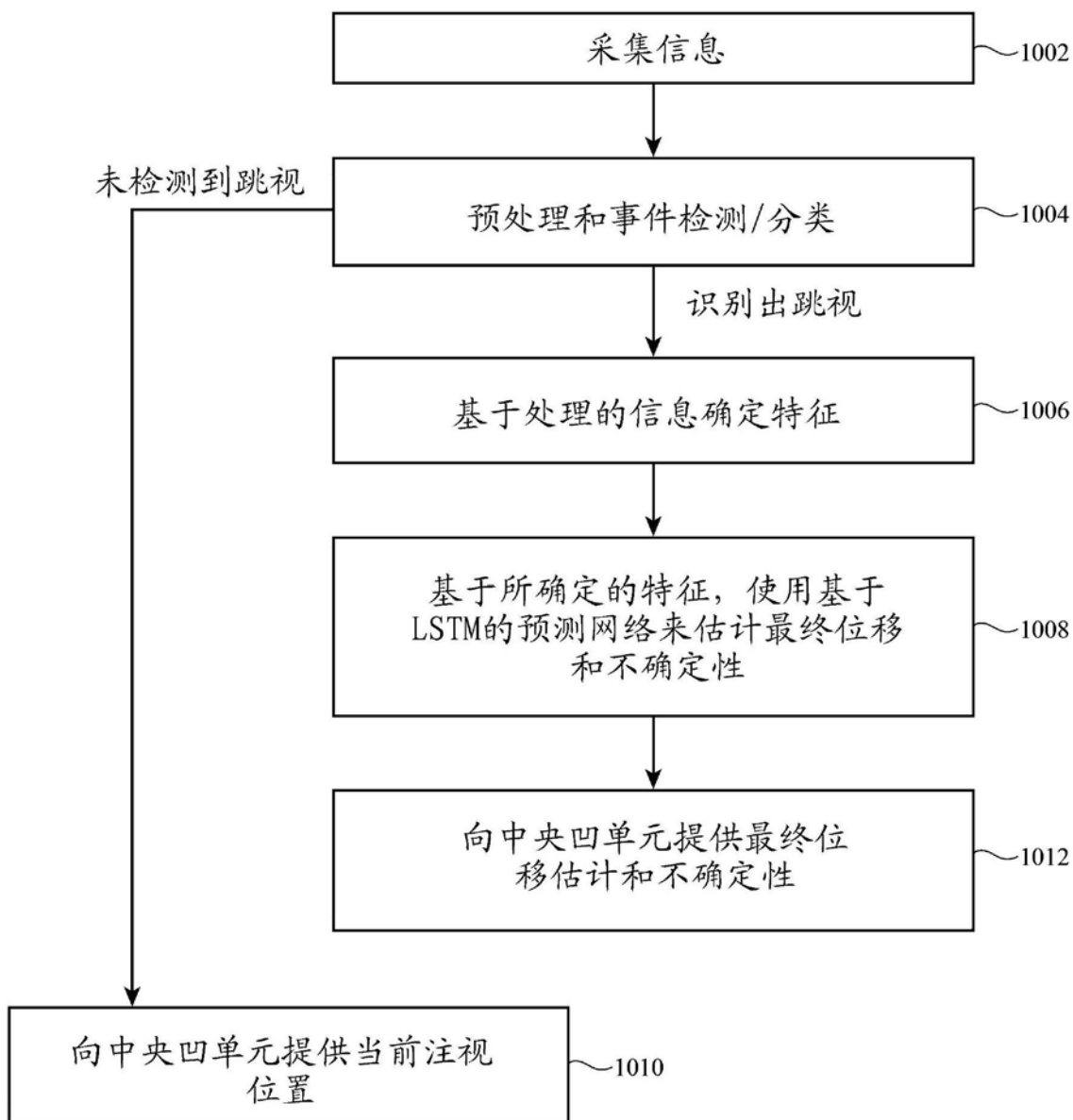


图10

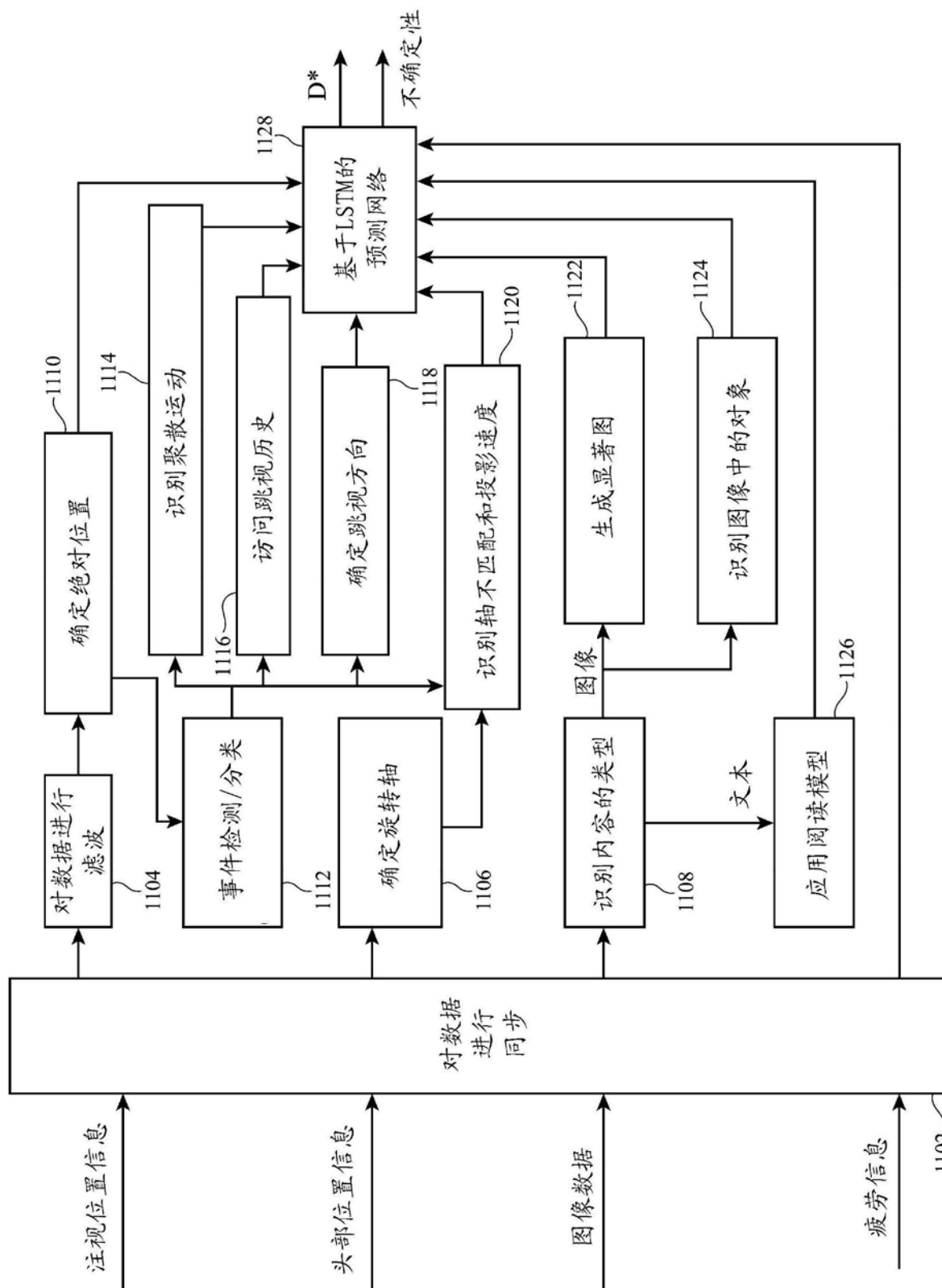


图11

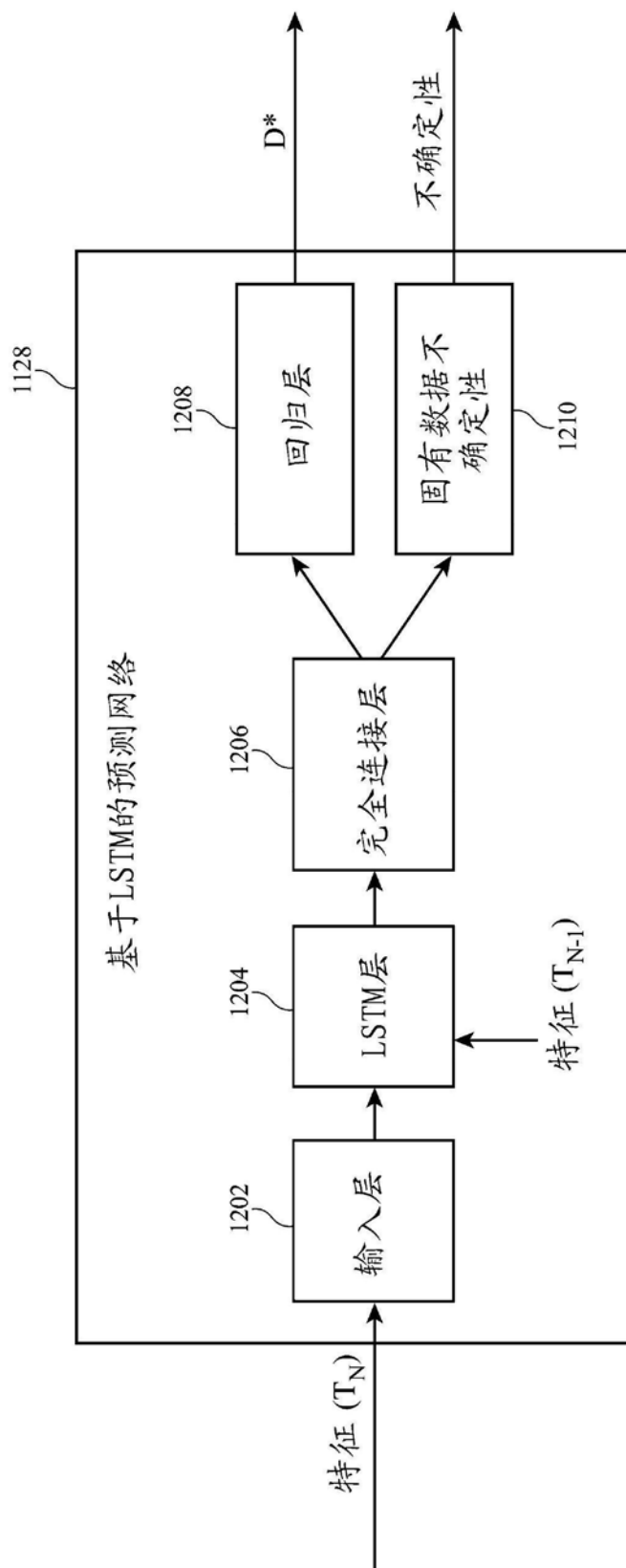


图12

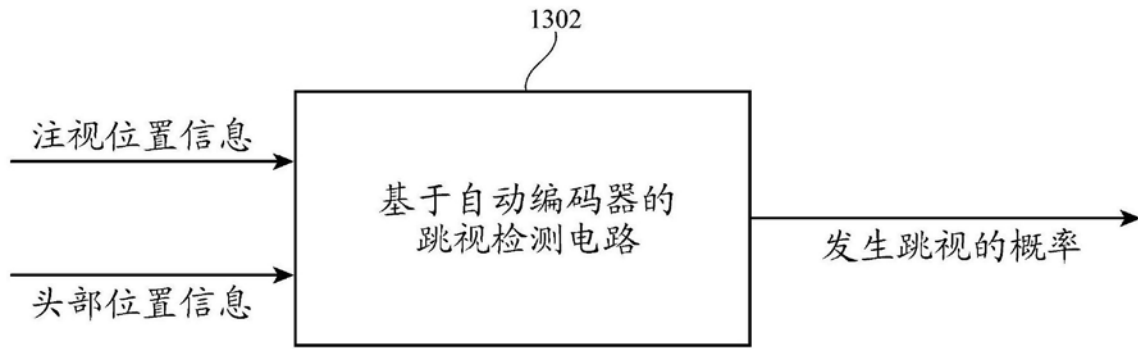


图13