

1. 一种用于显示包括了输入数字词 (dw) 的输入图像 (I) 的双显示器设备 (DD1、DD2)，该双显示器设备 (DD1、DD2) 包括第一显示器 (D1)、第二显示器 (D2、D3) 和图像分解器 (Sp)，

该第一显示器 (D1) 被配置用于调制来自该第二显示器 (D2、D3) 的图像，

该图像分解器 (Sp) 被构造用于依照 retinex 算法分解该输入图像 (I)，以便得到提供给该第二显示器 (D2、D3) 的由照明数字词组成的照明图像 (Ii) 以及得到提供给该第一显示器 (D1) 的由反射数字词组成的反射图像 (Ir)。

2. 如权利要求 1 所述的双显示器设备 (DD1、DD2)，其中该图像分解器 (Sp) 包括用于从该输入数字词 (dw) 生成该照明数字词的空间低通滤波器 (Sf)。

3. 如权利要求 2 所述的双显示器设备 (DD1、DD2)，其中该空间低通滤波器 (Sf) 被构造用于使用内核函数 (G) 在该输入数字词 (dw) 上执行空间卷积运算。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的双显示器设备 (DD1、DD2)，其中该第一显示器 (D1) 被配置成具有可编程透明度的光学滤波器，用于调制来自该第二显示器 (D2、D3) 的图像。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的双显示器设备 (DD1、DD2)，其中该图像分解器 (Sp) 被构造成通过将该输入数字词除以对应的照明数字词来确定该反射数字词。

6. 如权利要求 1 或 2 所述的双显示器设备 (DD1、DD2)，该输入数字词包括一组一起定义了该输入图像 (I) 的像素的亮度和颜色的子词，其中该双显示器设备 (DD1、DD2) 进一步包括词分解器 (Sw)，该词分解器 (Sw) 用于将该输入数字词分解成代表该输入图像 (I) 的像素亮度的亮度子词 (L) 和代表该输入图像 (I) 的像素颜色的颜色子词 (C1、C2)，并且其中该图像分解器 (Sp) 被构造用于将 retinex 算法仅仅应用到该亮度子词 (L)。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的双显示器设备 (DD2)，进一步包括用于在将该反射图像 (Ir) 提供给该第一显示器 (D1) 之前在该反射图像 (Ir) 上执行细节增强算法 (f_d) 的细节增强器 (De)。

8. 如权利要求 7 所述的双显示器设备 (DD2)，其中该细节增强器 (De) 被构造用于执行直方图均衡化。

9. 如权利要求 1 或 2 所述的双显示器设备 (DD2)，进一步包括用于在将该照明图像 (Ii) 提供给该第二显示器 (D2、D3) 之前在该照明图像 (Ii) 上执行对比度增强算法 (f_c) 的对比度增强器 (Ce)。

10. 如权利要求 9 所述的双显示器设备 (DD2)，其中该对比度增强器 (Ce) 被构造用于执行直方图均衡化。

11. 如权利要求 1 或 2 所述的双显示器设备 (DD1、DD2)，其中该第二显示器 (D2、D3) 由光源阵列、投影仪或者液晶显示器构成。

12. 如权利要求 1 或 2 所述的双显示器设备 (DD1、DD2)，其中该第一显示器 (D1) 是液晶显示器。

13. 如权利要求 1 或 2 所述的双显示器设备 (DD1、DD2)，该第一显示器 (D1) 具有第一空间分辨率，该第二显示器 (D2、D3) 具有第二空间分辨率，其中该第二空间分辨率低于该第一空间分辨率。

14. 一种用于在包括了第一显示器 (D1)、第二显示器 (D2、D3) 和图像分解器 (Sp) 的双显示器设备 (DD1、DD2) 上显示包括了输入数字词 (dw) 的输入图像 (I) 的方法，该第一

显示器 (D1) 被配置用于调制来自该第二显示器 (D2) 的图像,

该方法包括依照 **retinex** 算法分解该输入图像 (I), 以便得到由提供给该第二显示器 (D2、D3) 的照明数字词组成的照明图像 (Ii) 以及得到由提供给该第一显示器 (D1) 的反射数字词组成的反射图像 (Ir)。

双显示器设备

技术领域

[0001] 本发明涉及用于显示包括输入数字词的输入图像的双显示器设备，该双显示器设备包括第一显示器、第二显示器和图像分解器，该第一显示器被配置用于调制来自第二显示器的图像。

[0002] 本发明还涉及用于显示输入图像的方法并且涉及计算机程序产品。

背景技术

[0003] 可以明显地将通过常规显示设备观看的图像与在真实世界中观看的相同图像区分开来。这归因于常规显示器的动态范围，该动态范围通常不足以引起在真实世界中观看图像的光学感觉。已经设计出一些图像增强方法来产生更加逼真的图像印象。尽管如此，常规显示设备动态范围方面的限制使得即使是被增强的图像看起来也与真实世界图像不一样。

[0004] 在 Seetzen 等人的 ACMSIGGRAPH 2004 论文“High dynamic range display systems(高动态范围显示系统)”中公开了高动态范围显示系统的两种设计。在这篇论文中给出了两种不同的双显示器系统，它们能够使用强度级的增加的动态范围来显示图像。这个被增加的动态范围提供的被显示图像的感知与在真实世界中观看相同图像更为相似。所述双显示器系统包括像素化背光和 LCD 前面板。显示系统的动态范围基本上等于 LCD 面板的动态范围和像素化背光的动态范围的乘积。在所述被公开的双显示器系统中，图形处理单元通过取被归一化的输入图像数据的平方根将输入图像数据分解成两幅基本相同的图像。该图形处理单元随后将这两幅基本相同的图像发送到像素化背光和 LCD 前面板，这个步骤优选地发生在伽玛校正和 / 或背光照明校正之后。

[0005] Seetzen 等人提出的高动态范围显示系统在功耗方面没有进行优化。

发明内容

[0006] 本发明的一个目的是提供一种功耗降低了的双显示器设备。

[0007] 依照本发明的第一方面，所述目的由双显示器设备来实现，在该双显示器设备中，图像分解器被构造成根据 retinex 算法将输入图像分解成照明图像和反射图像。照明图像由照明数字词构成，运行时这些照明数字词被提供给第二显示器。反射图像由反射数字词构成，运行时这些反射数字词被提供给第一显示器。

[0008] 依照本发明的这些措施的效果在于，使用 retinex 算法分解输入图像得到的照明图像中，照明数字词的光强值的空间变化比输入数字词更加平缓。数字词是数字语言中的单个单元，在数字语言中，每个数字词定义了图像像素的视亮度和颜色。可以认为照明图像是源自输入图像的空间低分辨率图像。将照明图像提供给第二显示器，对于第一显示器而言，可以认为该第二显示器是背光单元。因此，第一显示器位于观察者和第二显示器之间。与现有技术中用基本相同的图像作为输入图像驱动第二显示器相比，当用空间低分辨率照明图像驱动第二显示器时，在第二显示器中的功耗一般更低。这归因于

例如这样的事实，即用来获取照明图像的空间平滑操作局部平滑了图像的光强值，这使得对于整幅图像而言平均光强更低。由于双显示器设备的功耗的主要部分发生在像素化背光中，因而像素化背光中功耗的降低引起该双显示器设备的总功耗的降低。

[0009] retinex 算法由 Land 和 McCann 在 1971 年提出 (“Lightness and Retinex theory(明度与 retinex 理论)”，J.of the Optical Soc.of America, vol.61, no.1, Jan.1971)，并且自那以后在许多不同的应用中被用作图像操作算法。retinex 算法将图像定义为环境照明(也表示为照明图像)和目标反射(也表示为反射图像)的逐像素乘积。在图像的环境照明中，像素到像素的光强变化平缓，因而环境照明一般是图像的空间低分辨率版本。目标反射可以例如通过图像逐像素除以环境照明来计算。retinex 算法典型地用于图像数据压缩，其中例如利用光强值的低空间变化来压缩环境照明。发明人认识到，除了典型的数据压缩应用，也可以有利地将 retinex 算法用于双显示器设备中以达到双显示器设备功耗的降低。

[0010] 依照本发明的这些措施的另一个好处在于，利用 retinex 算法对输入图像的分解改善了双显示器设备的观察角特性。双显示器设备通过用依照反射数字词的第一显示器像素的被编程透明度对依照照明数字词的第二显示器像素发射的光强进行滤波来重构输入图像。强度指的是像素的视亮度和颜色。当相对于第一显示器的观察角基本上垂直时，第一显示器的特定像素与例如第二显示器的第一像素对准。当改变观察角度时，第一显示器的该特定像素可能并不与第二显示器的第一像素对准，而是和例如与第一像素相邻的第二显示器的第二像素对准。这可能在输入图像的重构中带来误差，该误差也被称为双显示器系统的视差。视差取决于相对于第一显示器的观察角。当利用 retinex 算法在第一显示器和第二显示器之间分解输入图像时，第二显示器中的光强值在空间上变化更平缓。这意味着第二显示器中由第一像素发射的光强和由第二像素发射的光强之间的差异一般来说相对较小。因此，当利用 retinex 算法时，通过将第一显示器的所述特定像素与第二显示器的第二像素而不是与第二显示器的第一像素进行组合来重构输入图像产生的误差相对较小，典型地会降低视差。

[0011] 依照本发明的这些特征的再一个好处在于，通过在双显示器设备中应用 retinex 算法将输入图像分解成第一图像和第二图像创建了输入图像中所不存在的额外的亮度级。常规显示器的动态范围典型地为 8 比特，其得到可以由常规显示器显示的 256 种不同的亮度级，所述亮度级也表示为灰度级。从理论上说，例如如果第一和第二显示器两者都具有 8 比特的动态范围，那么双显示器设备的动态范围是 16 比特(65536 种亮度级)。由于第一显示器被配置用于调制来自第二显示器的图像这一事实，可以将第一和第二显示器的配置看作照明图像和反射图像的硬件相乘。依照本发明的双显示器设备包括图像分解器，它执行用于将输入图像分解成照明图像和反射图像的 retinex 算法。在双显示器设备的第二显示器上显示的照明图像不同于在双显示器设备的第一显示器上显示的反射图像。这样，通过第一显示器调制来自第二显示器的图像进行重组得到在被显示图像中显示的、不存在于输入图像中的灰度级，中间灰度级被创建出来。因此，通过执行用于将输入图像分解成照明图像和反射图像的 retinex 算法，在双显示器设备上显示的图像比输入图像包含更多的灰度级。

[0012] 相比较而言，已知的双显示器设备包括图形处理单元，该图形处理单元通过取

被归一化输入图像数据的平方根来将输入图像数据分解成两幅基本相同的图像。这两幅基本相同的图像的归一化数据被转换成在第一显示器和第二显示器上显示的 8 比特图像,从而得到现有技术的显示图像。该现有技术的显示图像典型地包括在可以由双显示器设备显示的最低灰度级和可以由双显示器设备显示的最高灰度级之间的增加了的灰度级范围。这个灰度级范围从 255 种不同的可能灰度级增加到 65535 种不同的可能灰度级。但是,由于在双显示器设备的第一显示器和第二显示器上显示的是两幅基本相同的图像,通过第一显示器调制来自第二显示器的图像的重组仍然基本上包括如输入图像中存在的 256 种不同的灰度级。

[0013] 在所述系统的一个实施例中,图像分解器包括用来根据输入数字词生成照明数字词的空间低通滤波器。由于可以相对容易地应用该空间低通滤波器,因而可以减少双显示器设备执行 **retinex** 算法的计算时间。计算时间的减少可以例如允许更容易地将 **retinex** 算法应用到视频流。

[0014] 在所述系统的一个实施例中,数字词包括一组子词,该组子词一起定义了像素的亮度和颜色。双显示器设备包括用于将输入数字词分解成代表像素亮度的亮度子词和代表像素颜色的颜色子词的词分解器。图像分解器被构造为仅仅将 **retinex** 算法应用到亮度子词。输入图像包括输入数字词流,其每一个包括一组子词,该组子词一起定义了待显示图像的关联像素的亮度和颜色。

[0015] 例如,可以由一组 RGB 子词来构成输入数字词。这些 RGB 子词代表 RGB 颜色空间的三原色的光强值。所述 RGB 子词组包括代表第一原色(例如红原色)的光强值的第一子词。所述 RGB 子词组还包括代表第二原色(例如绿原色)的光强值的第二子词。所述 RGB 子词组也包括代表第三原色(例如蓝原色)的光强值的第三子词。如果将 **retinex** 算法应用到由 RGB 子词组构成的输入图像,可能得到不自然的颜色效果,所述 RGB 子词组例如定义了 RGB 颜色空间。

[0016] 因此,在依照本发明的系统的一个优选实施例中,构造双显示器设备以便将输入图像从 RGB 颜色空间转换成例如 YUV 颜色空间。将一组 RGB 子词转换成 Y 值和 U、V 值,所述 Y 值是代表该组 RGB 子词的总亮度的亮度子词,所述 U、V 值是代表该组 RGB 子词的颜色分量的颜色子词。在依照本发明的系统的另一优选实施例中,构造双显示器设备以便将输入图像从 RGB 颜色空间转换成例如 HSV 颜色空间。将一组 RGB 子词转换成 V 值(亮度值)和 S、H 值(分别是饱和度和色调),所述 V 值是代表该组 RGB 子词的总亮度的亮度子词,所述 S、H 值是代表该组 RGB 子词的颜色分量的颜色子词。通过仅仅将 **retinex** 算法应用到输入图像的亮度子词(例如 YUV 颜色空间中的 Y 值或者 HSV 颜色空间中的 V 值),避免了彩色伪像。也可以应用其他导致将输入图像分解成亮度信息和颜色信息的本领域技术人员熟悉的分解算法,这并不偏离本发明的范围。

[0017] 在所述系统的一个实施例中,双显示器设备进一步包括用于在将反射图像提供给第一显示器之前在反射图像上执行细节增强算法的细节增强器。细节增强算法同样在本领域中是众所周知的,例如(非)线性重映射、图像锐化、伽玛校正等等。由于依照 **retinex** 算法分解输入图像,因而可以在反射图像上执行已知的细节增强算法,同时大量地保留图像内的总的照明变化。这一般得到更清晰的图像,同时大量地保留了原始图像的视亮度变化。

[0018] 在所述系统的一个优选实施例中，细节增强器执行直方图均衡化。直方图均衡化典型地依照预定的算法重新分布图像中可用的灰度级，以便在可由显示器显示的灰度级范围上得到改善的可用灰度级分布。当在反射图像上执行直方图均衡化时，反射图像内的灰度级由于重新分布而发生改变。通过经由第一显示器将反射图像和照明图像组合起来，双显示器设备显示出许多不存在于输入图像中的新灰度级，所述第一显示器调制来自第二显示器的图像。这样一来，通过 **retinex** 算法将输入图像分解成照明图像和反射图像并且随后在反射图像上执行直方图均衡化，在被显示图像中创建出比输入图像灰度级更多的灰度级，从而提高了对双显示器设备动态范围的利用率。

[0019] 在所述系统的一个实施例中，双显示器设备进一步包括用于在将照明图像提供给第二显示器之前在照明图像上执行对比度增强算法的对比度增强器。对比度增强算法同样在本领域中是众所周知的。由于依照 **retinex** 算法分解输入图像，因而可以在输入图像上执行与可能的细节增强算法分开的已知的对比度增强算法。

[0020] 在所述系统的一个优选实施例中，对比度增强器执行直方图均衡化。当在照明图像上执行直方图均衡化时，照明图像内的灰度级由于重新分布而发生改变。通过经由第一显示器调制来自第二显示器的图像将反射图像和照明图像组合起来，双显示器设备再次显示出许多输入图像中不存在的新灰度级。这样一来，通过 **retinex** 算法将输入图像分解成照明图像和反射图像并且随后在照明图像上执行直方图均衡化，在被显示图像中创建出比输入图像灰度级更多的灰度级，从而提高了对双显示器设备动态范围的利用率，改善了被显示图像的质量。

[0021] 在所述系统的一个实施例中，第一显示器具有第一空间分辨率，第二显示器具有比第一空间分辨率低的第二空间分辨率。低空间分辨率显示器的成本典型地低于高空间分辨率显示器的成本。由于照明图像是空间低分辨率图像，可以将它显示在较低空间分辨率的图像上而对被显示的照明图像的质量影响甚微。因此，将具有较低空间分辨率的显示器用作第二显示器典型地会降低双显示器设备的成本，而对被显示图像的质量影响很小。

[0022] 从下面的实施例中本发明的这些和其他方面会更明了，并且将参照下面的实施例对其进行阐述。

附图说明

[0023] 在附图中：

[0024] 图 1A ~ 1D 显示了依照本发明的双显示器设备的实施例的平面图；

[0025] 图 2A ~ 2E 显示了将输入图像分解成在第二显示器上显示的依照现有技术的第二图像和依照本发明的照明图像；

[0026] 图 3 显示了在双显示器设备中可能出现的视差；

[0027] 图 4A 和 4B 显示了表明由处理器采用的处理步骤的方框图；

[0028] 图 5A ~ 5C 显示了在双显示器设备上显示的、执行了直方图均衡化作为图像增强步骤的和未执行直方图均衡化的被处理输入图像的灰度级直方图。

[0029] 这些附图纯粹是示意性的，并未按比例画出。特别是为了清楚起见，一些尺度被过分夸大。附图中相似的部件尽可能用相同的附图标记来表示。

具体实施方式

[0030] 图 1A ~ 1D 显示了依照本发明的双显示器设备 DD1、DD2 的实施例的平面图。双显示器设备 DD1、DD2 包括第一显示器 D1，该第一显示器 D1 被配置成具有可编程透明度的光学滤波器，用于调制来自第二显示器 D2、D3 的图像。双显示器设备 DD1、DD2 还包括处理待显示在双显示器设备 DD1、DD2 上的输入图像 I 的处理器 Pr1。

[0031] 图 1A 显示了第一显示器 D1，它是液晶显示器 (进一步也称为 LCD) 面板 D1 的示意性表示。LCD 面板 D1 包括 LCD 像素 Pf1 阵列，其中每个 LCD 像素 Pf1 例如包括三个子像素 (未示出)。每个子像素包括一个液晶单元 (cell) 和一个颜色滤波器。一个 LCD 像素 Pf1 内各子像素的颜色滤波器优选地透射不同的颜色，典型地这样选择这些颜色滤波器，使得通过与与相关颜色滤波器结合的每个液晶单元选择特定的透明度可以创建标准化色域 (例如 EBU 或 NTSC 颜色标准) 内的基本上每一种颜色。LCD 面板 D1 的每个液晶单元例如区分 8 比特 (256 种) 不同的透明度级别，这些透明度级别等价于 LCD 面板 D1 的 8 比特动态范围。每表面面积的 LCD 像素 Pf1 的个数决定了 LCD 面板 D1 的空间分辨率。

[0032] 图 1B 显示了第二显示器 D2，它是包括光源阵列的面板的示意性表示，所述面板例如发光二极管 (进一步也称为 LED) 面板 D2。LED 面板 D2 包括 LED Pb1、Pb2 阵列，它们例如基本上发射白光。在图 1B 所示的例子中，LED 面板 D2 中 LED Pb1、Pb2 的个数等于 LCD 面板 D1 中 LCD 像素 Pf1 的个数，使得 LED 面板 D2 与 LCD 面板 D1 具有相同的空间分辨率。备选的设计可以包括 LED 面板 D2，其中 LED 面板 D2 的空间分辨率低于 LCD 面板 D1 的空间分辨率。LED 面板 D2 中的每个 LED Pb1、Pb2 例如区分 8 比特 (256 种) 不同的可寻址的发射强度级别，得到 LED 面板 D2 的 8 比特动态范围。

[0033] 图 1C 显示了依照本发明的双显示器设备 DD1 的一个实施例。LCD 面板 D1 被配置在 LED 面板 D2 和观察者 (未示出) 之间。LCD 像素 Pf1 (参见图 1A) 与 LED 面板 D2 的 LED Pb1、Pb2 (参见图 1B) 对准，使得一个 LED Pb1 基本上经由关联的 LCD 像素 Pf1 发射朝向观察者的光。双显示器设备 DD1 进一步包括处理器 Pr1，该处理器 Pr1 接收输入图像 I 并且处理该输入图像 I 以便在双显示器设备 DD1 上显示该输入图像 I。处理器 Pr1 包括用于将输入图像 I 分解成照明图像 Ii 和反射图像 Ir 的图像分解器 Sp。图像分解器 Sp 被构造来依照 *retinex* 算法分解输入图像 I。在图 1C 所示的实施例中，处理器进一步包括第一伽玛电路 $\gamma 1$ ，该伽玛电路 $\gamma 1$ 在反射图像 Ir 被显示在 LCD 面板 D1 上之前用第一显示器 D1 的逆响应函数对反射图像 Ir 进行校正。处理器还包括第二伽玛电路 $\gamma 2$ ，该伽玛电路 $\gamma 2$ 在照明图像 Ii 被显示在 LED 面板 D2 上之前用第二显示器 D2 的逆响应函数对照明图像 Ii 进行校正。LCD 面板 D1 中的 LCD 像素 Pf1 充当了用于 LED 面板 D2 的关联 LED Pb1 的可编程滤波器。由于 LED 面板 D2 和 LCD 面板 D1 两者都具有 8 比特的动态范围，理论上双显示器设备 DD1 能够显示 16 比特的亮度级 (也称为灰度级) 动态范围。由于在 LED 面板 D2 和 LCD 面板 D1 之间的可能的亮度级组合中存在冗余 (例如，用 LCD 面板 D1 的亮度级 2 来滤波 LED 面板 D2 的亮度级 5 等价于用 LCD 面板 D1 的亮度级 5 来滤波 LED 面板 D2 的亮度级 2)，因此实际的双显示器设备 DD1 只能显示大约 15 比特的范围。

[0034] 输入图像 I 典型地包括输入数字词 dw 流 (参见图 2)，这些输入数字词 dw 定义

了图像像素的视亮度和颜色。处理器 Pr1 接收该输入数字词 dw 流并且利用图像分解器 Sp 依照 retinex 算法将这些输入数字词 dw 分解成照明数字词和反射数字词。利用第二伽玛电路 γ_2 为 LED 面板 D2 的响应校正照明数字词, 并将这些照明数字词提供给 LED 面板 D2 的 LED Pb1、Pb2。照明数字词决定了 LED 面板 D2 内 LED Pb1、Pb2 的光发射强度。利用第一伽玛电路 γ_1 为 LCD 面板 D1 的响应校正反射数字词, 并将这些反射数字词提供给 LCD 面板的 LCD 像素 Pf1。反射数字词决定了 LCD 面板 D1 内 LCD 像素 Pf1 的透射情况。

[0035] 由 retinex 算法得到的照明图像 Ii 典型地代表输入图像 I 的空间低分辨率版本。这意味着 LED 面板 D2 内 LED Pb1、Pb2 的光发射强度的变化经过空间平滑。在已知的双显示器设备中, 图形处理单元(未示出)通过取输入图像 I 的归一化数字词 Ndw(稍后利用图 2 对数字词的归一化计算进行解释)的平方根将输入图像 I 分解成第一和第二图像, 得到被提供给第一显示器 D1 和第二显示器 D2 的基本相同的图像。一般地说, 显示空间已平滑图像的 LED 面板 D2 的平均光发射 Av(稍后利用图 2 对平均光发射的计算进行解释)小于显示代表输入图像 I 被归一化数字词 Ndw 平方根的图像的 LED 面板 D2 的平均光发射 Avp(稍后利用图 2 对平均光发射的计算进行解释)。这在图 2 中通过数值示例表示出来。由于双显示器设备 DD1 的功耗的主要部分出现在 LED 面板 D2 中, 因此降低平均光发射 Av 会引起双显示器设备 DD1 的总功耗的降低。

[0036] 在一个优选的实施例中, LED 面板 D2 的空间分辨率低于 LCD 面板 D1 的空间分辨率。当使用具有降低的空间分辨率的显示器来显示图像时, 由于被显示图像的像素值间存在插值, 预计会出现误差。但是, 当利用具有降低的分辨率的 LED 面板 D2 来显示照明图像 Ii 时, 预计该误差会很小, 因为照明图像 Ii 是从输入图像 I 导出的空间低分辨率图像。使用具有降低的空间分辨率的显示器的好处在于, 可以使双显示器设备 DD1 的制造成本不那么昂贵。

[0037] 在一个优选的实施例中, LCD 面板 D1 由数字镜面设备(未示出)代替。数字镜面设备典型地包括可以以高频移动或开关的微型镜面阵列。相较于不那么频繁关闭的图像像素而言, 更频繁关闭的图像像素反射了更暗的灰度级。按照这种方式, 可以为图像的每个像素产生不同的灰度级。一般而言, 数字镜面设备可以反射高达 1024 种不同灰度级的图像像素。数字镜面设备与 LED 面板 D2 的 LED Pb1、Pb2 对准, 使得一个 LED Pb1 朝数字镜面设备发射光, 该数字镜面设备典型地朝投影屏反射(一部分)光, 观察者通过投影屏可以观看图像。处理器 Pr1 接收输入图像 I, 并且将输入图像 I 分解成提供给 LED 面板 D2 的照明图像 Ii 和提供给数字镜面设备的反射图像 Ir。

[0038] 图 1D 显示了依照本发明的双显示器设备 DD2 的另一实施例。在这个实施例中, LED 面板 D2(参见图 1C)已经被第二 LCD 面板 D3 代替, 该第二 LCD 面板 D3 用于调制来自背光单元 Bu 的光。第二 LCD 面板 D3 被配置在 LCD 面板 D1 和背光单元 Bu 之间。每个 LCD 像素 Pf1(参见图 1A)与第二 LCD 面板 D3 的关联 LCD 像素(未示出)对准, 使得该关联 LCD 像素基本上经由 LCD 像素 Pf1 朝观察者发射光。双显示器设备 DD2 还包括处理器 Pr2, 该处理器 Pr2 接收输入图像 I 并且处理该输入图像 I 以便在双显示器设备 DD2 上显示该输入图像 I。输入图像 I 典型地包括输入数字词 dw 流(参见图 2), 其每一个包括一组子词(未示出), 该组子词一起定义了输入图像 I 关联像素的亮度和颜色。处

理器 Pr2 包括词分解器 Sw, 该词分解器 Sw 将输入图像 I 的输入数字词转换成代表像素亮度的亮度子词 L 以及转换成代表该像素颜色的颜色子词 C1、C2, 并且随后将亮度子词 L 与颜色子词 C1、C2 分开。处理器 Pr2 被构造成将颜色子词 C1、C2 发送给两个词重组器 Sw^{-1} 并且将亮度子词 L 发送给图像分解器 Sp。图像分解器 Sp 将亮度子词 L 分解成照明亮度子词 Li 和反射亮度子词 Lr, 其作用等价于图 1C 中描述的图像分解器。图 1D 中显示的处理器 Pr2 进一步包括例如在照明亮度子词 Li 上执行对比度增强算法的对比度增强器 Ce。处理器 Pr2 还包括例如在反射亮度子词 Lr 上执行细节增强的细节增强器 De。例如(非)线性拉伸的对比度增强算法与例如直方图均衡化的细节增强算法在本领域中是众所周知的。在图 1D 所示的配置中, 执行完对比度增强和细节增强之后, 通过词重组器 Sw^{-1} 将照明亮度子词 Li 和反射亮度子词 Lr 与颜色子词 C1、C2 进行重组, 得到照明图像 Ii 和反射图像 Ir。也可以在处理器 Pr2 中的不同位置执行对比度增强和/或细节增强, 这对于本领域技术人员而言是显而易见的。处理器 Pr2 优选地还包括第一伽玛电路 γ_1 和第三伽玛电路 γ_3 , 所述第一伽玛电路 γ_1 用 LCD 面板 D1 的逆响应函数对反射图像 Ir 进行校正, 所述第三伽玛电路 γ_3 用第二 LCD 面板 D3 的逆响应函数对照明图像 Ii 进行校正。

[0039] 在一个优选的实施例中, 图像分解器 Sp 包括空间低通滤波器 Sf, 该空间低通滤波器 Sf 例如使用例如高斯内核函数 G(参见图 2C)的内核函数 G(参见图 2C)在输入亮度子词 L 上执行空间卷积运算。使用高斯内核函数 G 的好处在于, 它简化了执行 retinex 算法所需的计算, 使得处理器 Pr2 中的计算时间有所减少。这种减少的计算时间允许将 retinex 算法应用到例如视频流中。另一方面, 计算的简化降低了对处理器 Pr2 的计算要求, 其结果是例如使得处理器 Pr2 的造价更便宜。

[0040] 输入图像 I 典型地包括输入数字词 dw(参见图 2A), 这些输入数字词 dw 包括成组的子词, 例如包括代表 RGB 颜色空间三原色光强值的一组 RGB 子词。将每个 RGB 子词提供给例如具有颜色滤波器的 LCD 像素 Pf1 的子像素, 所述颜色滤波器与由 RGB 子词代表的原色对应。词分解器 Sw 将输入数字词 dw 转换成亮度子词 L 以及转换成颜色子词 C1、C2。一些转换算法在本领域中是已知的, 例如 RGB 颜色空间到 YUV 颜色空间的转换, 其中 Y 子词代表该组子词的亮度, U 和 V 子词代表该组子词的颜色。另一个示例是从 RGB 颜色空间到 HSV 颜色空间的转换, 其中 V 子词(也称为亮度值)代表该组子词的亮度, S 和 H 子词(也分别称为饱和度和色调)代表该组子词的颜色。依照 retinex 算法将亮度子词 L(或者依照提到的那些示例, Y 子词或 V 子词)分解成照明亮度子词 Li 和反射亮度子词 Lr。将 retinex 算法仅仅应用到输入图像 I 的亮度子词 L 的好处在于, 避免了在双显示器设备 DD2 的被显示图像中出现彩色伪像。通过将颜色子词 C1、C2 与照明亮度子词 Li 和反射亮度子词 Lr 进行重组, 分别产生照明图像 Ii 和反射图像 Ir, 所述照明图像 Ii 和反射图像 Ir 分别被提供给第二 LCD 面板 D3 和 LCD 面板 D1。

[0041] 图 2A ~ 2E 显示了将输入图像 I 分解成在第二显示器 D2、D3 上显示的依照现有技术的第二图像 Isp 和依照本发明的照明图像 Ii。

[0042] 在图 2A 中显示了代表输入图像 I 的被归一化数字词 NdW 的二维阵列。该二维阵列中的每个被归一化数字词 NdW 代表输入图像 I 的对应数字词 dw 的被归一化值。图中针对左上角的输入数字词 dw(8 比特数字词)给出了对应的被归一化数字词 NdW。这种

本领域技术人员所熟知的转换将 8 比特数字词 dw (例如 11110011) 转换成十进制词 (例如 11110011 $\rightarrow$ 243), 并且随后转换成被归一化数字词 Ndw (例如 $243/256 = 0.9492$)。所述二维阵列的其余被归一化数字词 Ndw 从输入图像 I 的对应输入数字词 dw 导出。

[0043] 在图 2B 中显示了代表依照现有技术的第二图像 I_{sp} 的 (被归一化) 第二图像词的二维阵列。该二维阵列中的每个元素是通过取图 2A 中输入图像 I 的对应归一化数字词 Ndw 的平方根来计算的 (对于图 2A 和 2B 中显示的阵列的左上角而言, 其结果为 $\sqrt{0.9492} = 0.9743$)。将所述依照现有技术的第二图像 I_{sp} 提供给双显示器设备 DD1、DD2 的第二显示器 D2、D3。当显示所述依照现有技术的第二图像 I_{sp} 时由第二显示器 D2、D3 发射的平均光 Avp 通过取该二维阵列的已计算第二图像词的平均来确定。

[0044] 在图 2C 中显示了作为内核函数示例的高斯内核函数 G 。该高斯内核函数 G 是个空间滤波器, 它利用与高斯函数相似的内核函数中的权值分布从空间上对存在于图像中的相邻像素 P (参见图 2A) 的强度级进行平滑。图 2C 中显示的高斯内核函数 G 决定了输入数字词 dw 的 3×3 阵列的平均值。该 3×3 高斯内核函数 G 的中心元素 C 在输入数字词 dw (或者被归一化数字词 Ndw) 的二维阵列上移动, 并且用采用了高斯型权值分布的高斯内核函数 G 的已计算平均值来替换与中心元素 C 对应的输入数字词 dw 。也可以使用不同类型的内核函数, 这并不偏离本发明的范围。如图 2A 所示, 为了能够将高斯内核函数 G 应用到被归一化数字词 Ndw 的二维阵列, 必须添加被归一化数字词 Ndw 二维阵列的边缘数字词, 这也被称为填充运算。该填充运算将 (该示例中) 5×5 被归一化数字词 Ndw 阵列的被归一化数字词 Ndw 二维阵列转换成 7×7 被归一化数字词 Ndw 阵列的被填充图像 I_p (参见图 2D) 二维阵列。图 2D 中显示了填充运算的一个典型示例, 其中拷贝图 2A 中被归一化数字词 Ndw 二维阵列的第二列来在被归一化数字词 Ndw 二维阵列的第一列之前创建一个新的边界 (如图 2D 中针对新的 7×7 被填充图像 I_p 阵列的第一列的 5 个虚线箭头所示)。拷贝图 2A 中被归一化数字词 Ndw 二维阵列的第四列来在被归一化数字词 Ndw 二维阵列的第五列之后创建一个新的边界。拷贝图 2A 中被归一化数字词 Ndw 二维阵列的第二行来在被归一化数字词 Ndw 二维阵列的第一行之上创建一个新的边界。并且拷贝图 2A 中被归一化数字词 Ndw 二维阵列的第四行来在被归一化数字词 Ndw 二维阵列的第五行的下面创建一个新的边界。为了完成这个被填充图像 I_p 的新的 7×7 阵列, 从位于图 2A 中原始 5×5 阵列的拐角像素的径向相反侧的被归一化数字词 Ndw 拷贝该 7×7 阵列的拐角像素 (如图 2D 中针对该新的 7×7 被填充图像 I_p 阵列的第一列的虚点线箭头所示)。当然, 也可以应用本领域技术人员所熟悉的其他填充运算, 这并不偏离本发明的范围。

[0045] 图 2E 显示了应用高斯内核函数 G 到图 2D 的被填充图像 I_p 所得的照明图像 I_i 。通过执行高斯内核函数 G , 图像中大的强度变化得到平滑。当显示依照本发明的照明图像 I_i 时, 由第二显示器 D2、D3 发射的平均光 Av 通过从对应的被归一化数字词 Ndw 取该二维阵列中元素的平均值来确定, 所述二维阵列中的元素通过将高斯内核函数 G 应用到被填充图像 I_p 来计算。

[0046] 一般地说, 当显示其中的像素光强值经过空间平滑的图像时, 平均光输出要低于原始图像的平均光输出, 即使当原始图像通过取各像素值的平方根来操作时, 情况也是如此。这在图 2 的数值示例中也被显示出来, 其中当将输入图像 I 分解成依照现有技术的第二图像 I_{sp} 时的平均光输出 Avp ($Avp = 0.6961$) 明显大于当将输入图像 I 分解成依照

本发明的照明图像 I_i 时的平均光输出 A_v ($A_v = 0.5708$)。

[0047] 图 3 显示了图 1C 所示的双显示器设备 DD1 沿直线 AA 方向的剖面图。在该剖面图中, LCD 面板 D1 的 LCD 像素 Pf1 沿第一观察轴 Ax1 与 LED 面板 D2 的第一 LED Pb1 对准。该第一观察轴 Ax1 基本上垂直于双显示器设备 DD1 的 LCD 面板 D1。当沿与第一观察轴 Ax1 成 ϕ 角的第二观察轴 Ax2 观看双显示器设备 DD1 时, LCD 面板 D1 的 LCD 像素 Pf1 不是与 LED 面板 D2 的第一 LED Pb1 对准, 而是与第二 LED Pb2 对准, 该第二 LED Pb2 是第一 LED Pb1 的相邻 LED。一般说来, 观察者沿第一观察轴 Ax1 看到的光强不同于沿第二观察轴 Ax2 看到的光强, 因此沿第一观察轴 Ax1 看到的图像一般与沿第二观察轴 Ax2 看到的图像不同。这种误差称为视差, 并且可能出现在双显示器设备 DD1、DD2 中。

[0048] 在依照本发明的双显示器设备 DD1、DD2 中, 在双显示器设备 DD1、DD2 的第二显示器 D2、D3 上显示的图像通过依照 retinex 算法分解输入图像 I 以便得到照明图像 I_i 来确定。照明图像 I_i 典型地是输入图像 I 的空间低分辨率版本。在空间低分辨率图像中, 像素与其相邻像素的光强值间的差异一般小。这意味着由第一 LED Pb1 与第二或相邻 LED Pb2 发射的光之间的差异相对较小, 其导致当沿不同于第一观察轴 Ax1 的轴观看双显示器设备 DD1、DD2 时出现的视差相对较小。因此, 依照 retinex 算法对输入图像 I 的分解在双显示器设备 DD1、DD2 中得到减小了的视差。

[0049] 图 4A 和 4B 显示了表明由处理器 Pr1、Pr2 采用的处理步骤的方框图。在图 4A 中显示了由处理器 Pr1 执行的处理步骤。处理器 Pr1 接收输入图像 I。通过图像分解器 Sp 将输入图像 I 分解成照明图像 I_i 和反射图像 I_r 。图像分解器 Sp 通过利用空间低通滤波器 Sf 将高斯内核函数 G 与输入图像 I 进行卷积来执行 retinex 算法, 如图 2A、D 和 E 中已经示出的。图像分解器 Sp 进一步包括图像除法器 Sd, 该图像除法器 Sd 通过将输入图像 I 的数字词除以来自空间低通滤波器 Sf 的照明图像 I_i 的对应数字词来生成反射图像 I_r 。当然, 也可以采用其他计算反射图像的方法, 这并不偏离本发明的范围, 例如利用下列函数计算反射图像: 反射图像 $I_r = \text{逆} \log(\log(\text{输入图像 I}) - \log(\text{照明图像 } I_i))$ 。图像除法器 Sd 进一步包括点扩散函数 (也称为 PSF)p。PSFp 代表从第二显示器 D2、D3 (参见图 1) 的像素发射到第一显示器 D1 (参见图 1) 的像素的光的发射特性。由于第一显示器 D1 和第二显示器 D2、D3 之间的距离是有限的, 由第二显示器 D2、D3 的像素发射到第一显示器 D1 的对应像素的光也部分到达对应像素的相邻像素。其结果是, 由第二显示器 D2、D3 发射到第一显示器 D1 的图像在到达第一显示器 D1 时变得模糊。在图像除法器 Sd 中将 PSF p 应用到空间低通滤波器 Sf 的输出校正了由两个显示器之间的有限距离引起的这种模糊, 并且改善了图像质量。处理器 Pr1 还包括第一伽玛电路 γ_1 和第二伽玛电路 γ_2 , 所述第一伽玛电路 γ_1 用第一显示器 D1 的逆响应函数 r_1^{-1} 对反射图像 I_r 进行校正, 所述第二伽玛电路 γ_2 用第二显示器 D2、D3 的逆响应函数 r_2^{-1} 对照明图像 I_i 进行校正。

[0050] 图 4B 显示了由处理器 Pr2 的一个优选实施例所执行的处理步骤。处理器 Pr2 接收输入图像 I_{RGB} , 其中下标 RGB 表示输入图像 I_{RGB} 的输入数字词 dw (参见图 2) 包括定义了 RGB 颜色空间的成组的 RGB 子词。处理器 Pr2 包括将输入图像 I_{RGB} 转换成亮度子词 L_v 和颜色子词 C1、C2 的词分解器 Sw。词分解器 Sw 被构造为将输入图像 I_{RGB} 从 RGB 颜色空间转换到 (该例中的) HSV 颜色空间。在处理器 Pr2 中, 利用图 4A 中所示的空间

低通滤波器 Sf 和图像除法器 Sd 将亮度子词 Lv(“V”表示 HSV 颜色空间中的亮度值)分解成照明亮度子词 Lvi 和反射亮度子词 Lvr。在一个优选的实施例中,处理器 Pr2 进一步包括用来对照明亮度子词 Lvi 执行对比度增强算法 f_c 的对比度增强器 Ce 和/或用来对反射亮度子词 Lvr 执行细节增强算法 f_d 的细节增强器 De。接下来,处理器 Pr2 包括词重组器 Sw^{-1} ,在这些词重组器 Sw^{-1} 中,将颜色子词 C1、C2 分别与照明亮度子词 Lvi 和反射亮度子词 Lvr 进行重组。此外,这些词重组器 Sw^{-1} 将成组的 HSV 颜色子词向后转换成成组的 RGB 颜色子词,产生照明图像 $I_{i_{RGB}}$ 和反射图像 $I_{r_{RGB}}$ 。优选地,处理器 Pr2 还包括第一伽玛电路 γ_1 和第二伽玛电路 γ_2 ,所述第一伽玛电路 γ_1 用第一显示器 D1 的逆响应函数 r_1^{-1} 对反射图像 $I_{r_{RGB}}$ 进行校正,所述第二伽玛电路 γ_2 用第二显示器 D2、D3 的逆响应函数 r_2^{-1} 对照明图像 $I_{i_{RGB}}$ 进行校正。

[0051] 图 5A ~ 5C 显示了灰度级直方图。在图 5A 中显示了输入图像 I 的灰度级直方图。在图 5B 中显示了未利用作为图像增强步骤的直方图均衡化的情况下在双显示器设备 DD1、DD2(参见图 1)上显示的已处理输入图像 I 的灰度级直方图。在图 5C 中显示了在其中将直方图均衡化作为图像增强步骤来执行的双显示器设备 DD1、DD2(参见图 1)上显示的已处理输入图像 I 的灰度级直方图。在灰度级直方图中,针对显示设备能够显示的每个可能的灰度级 GL 绘出图像中出现的灰度级的个数 NG。能够在具有 8 比特动态范围的显示设备上显示的灰度级 GL 典型地有 0 ~ 255 种不同的灰度级 GL,其中灰度级“0”表示最暗的像素,灰度级“255”表示最亮的像素。图 5A 中示出了其灰度级直方图的输入图像 I 是幅相对较暗的图像,因为大部分灰度级 GL 主要覆盖灰度级直方图的低端部分。

[0052] 图 5B 显示了未利用作为图像增强步骤的直方图均衡化的情况下在双显示器设备 DD1、DD2 上显示的输入图像 I 的灰度级直方图。在其中第一显示器 D1 和第二显示器 D2、D3 都具有 8 比特动态范围的双显示器设备 DD1、DD2 中,理论动态范围典型地为 16 比特(65536 种不同的可能灰度级 GL)。由图 5B 中的灰度级直方图可知,直方图的总体形状并没有显著的变化。在第一显示器 D1 和第二显示器 D2、D3 上对图像的分解看起来仅仅是拉伸了直方图。将双显示器设备 DD1、DD2 用于显示 8 比特图像时的另一个效果是,在被拉伸的直方图中出现了缺口 g,如图 5B 中的放大视图所示。造成灰度级直方图中的缺口 g 的事实在于,8 比特图像被分解成两幅图像,这两幅图像经由第一显示器 D1 和第二显示器 D2、D3 重构,重新生成原始的输入图像 I。在输入图像 I 中,例如存在灰度级 16、17 和 18。对图像分解并利用第一显示器 D1 和第二显示器 D2、D3 来显示该图像之后,灰度级 16、17 和 18 分别被转换成灰度级 256、289 和 324。虽然双显示器设备 DD1、DD2 还能够区分灰度级 256、289 和 324 之间的所有中间灰度级 GL,但是这些中间灰度级 GL 并不存在于输入图像中,因而不会出现在由双显示器设备 DD1、DD2 显示的图像中。尤其在其中的第一显示器 D1 和第二显示器 D2、D3 上显示两幅基本相同的图像的现有技术方案中,一般在双显示器设备 DD1、DD2 的图像中显示 256 种不同的灰度级 GL,从而在直方图中的灰度级 GL 之间出现明显的缺口 g。当使用 retinex 算法将输入图像 I 分解成照明图像 I_i 和反射图像 I_r (如前面的附图所示)时,空间低分辨率照明图像 I_i 与反射图像 I_r 的重组典型地会填补灰度级直方图中的部分缺口 g。因此,将 retinex 算法用于分解输入图像 I 允许更有效地利用双显示器设备 DD1、DD2 的高动态范围。

[0053] 在图 5C 中显示了在其中将直方图均衡化作为图像增强步骤来执行的双显示器设备 DD1、DD2(参见图 1)上显示的已处理输入图像 I 的灰度级直方图。图 5B 中显示的灰度级直方图与图 5C 中显示的灰度级直方图的差异在于,在反射图像 Ir 被显示在第一显示器 D1 上并且与来自第二显示器 D2、D3 的照明图像 Ii 进行重组之前,处理器 Pr2(参见图 4B)对反射图像 Ir 执行了作为细节增强算法的直方图均衡化。直方图均衡化依照预定的算法重新分布图像中的可用灰度级 GL,以便得到新的灰度级 GL 分布,该新的灰度级 GL 分布典型地更好地覆盖可由显示器区分的可能的灰度级 GL。当将直方图均衡化应用到反射图像 Ir 时,会产生两种效果:第一种效果是使得直方图中的缺口 g(参见图 5B)进一步减少;第二种效果是使得灰度级直方图进一步拉伸到更高的灰度值。两种效果都创建出输入图像 I 中不存在的灰度级 GL,从而提高了双显示器设备 DD1、DD2 的动态范围的利用率。由于处理器 Pr2 没有改变照明图像 Ii,输入图像 I 中的总体照明变化基本上得到保留。这可以在图 5C 的灰度级直方图中看出来,因为仍然有大部分灰度级 GL 覆盖了灰度级直方图的较低端部分。这得到具有自然照明的相对更清晰的图像。当然,也可以将其其他的细节和 / 或对比度增强算法分别应用到反射图像 Ir 和 / 或照明图像 Ii,这导致双显示器设备 DD1、DD2 的高动态范围的利用率有所提高。

[0054] 应当指出的是,上述实施例说明了而非限制了本发明,并且本领域技术人员将能够在不偏离所附权利要求的范围的情况下设计出许多可替换的实施例。

[0055] 在权利要求书中,任何置于括号中的附图标记都不应当视为限制了该权利要求。动词“包括”及其变体的使用并没有排除权利要求中未列出的元件或步骤的存在。元件前的冠词“一”或“一个”并没有排除多个这种元件的存在。本发明可以通过包括了几个不同元件的硬件以及通过经过适当编程的计算机来实现。在列举了几个装置的设备权利要求中,这些装置中的几个可以通过同一硬件项来实施。在互不相同的从属权利要求中引用特定的技术措施这一起码的事实,并不意味着这些技术措施的组合不能加以利用。

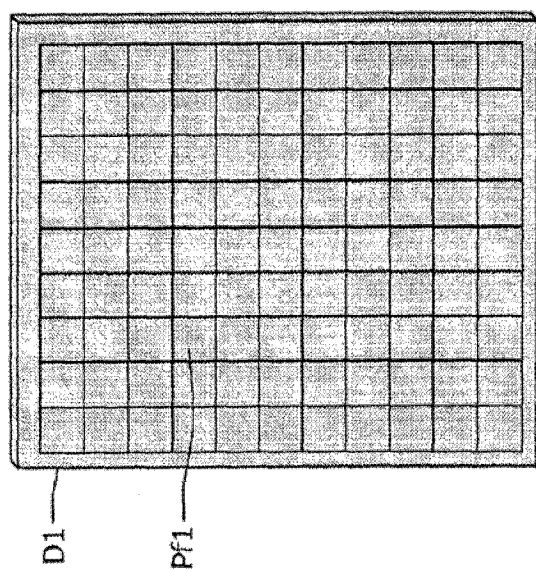


图 1A

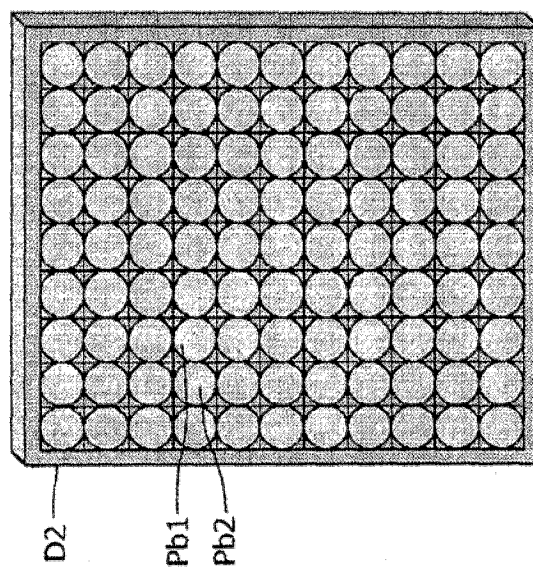


图 1B

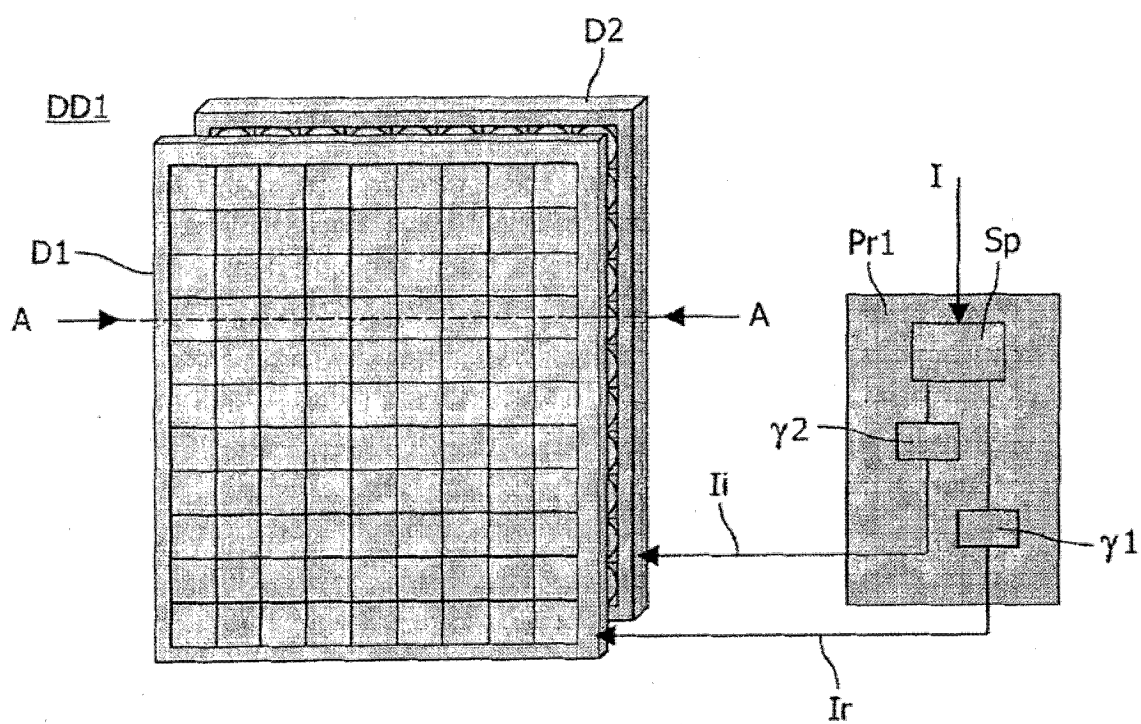


图 1C

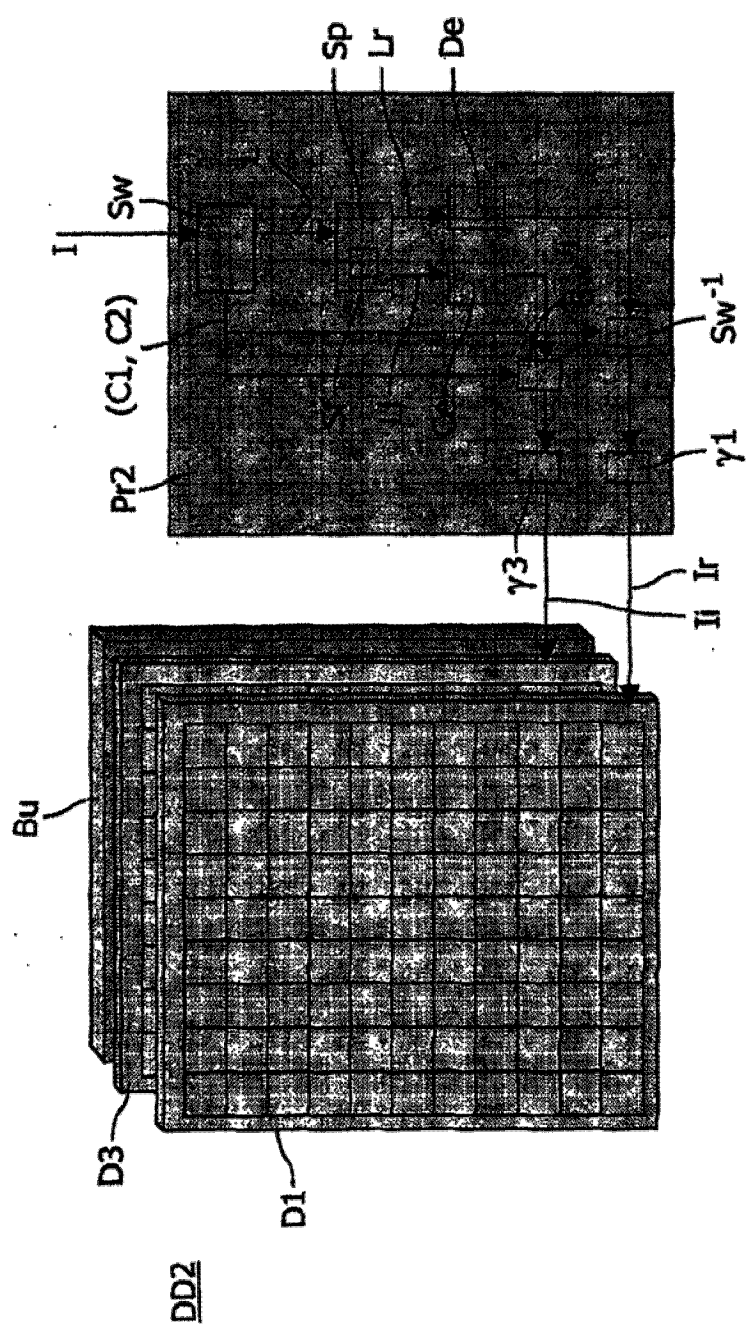
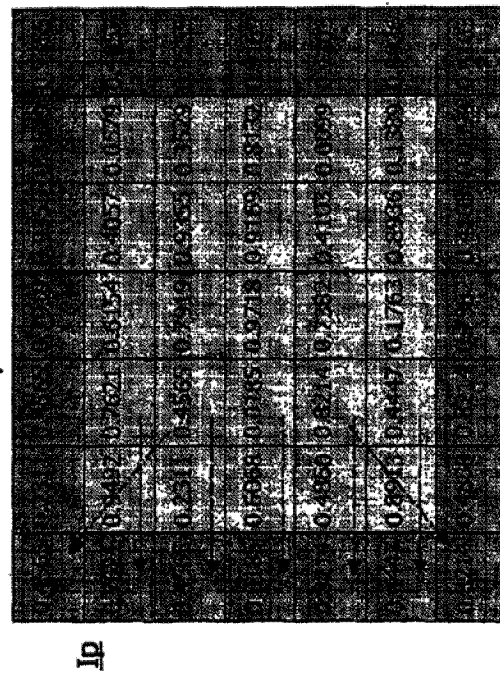
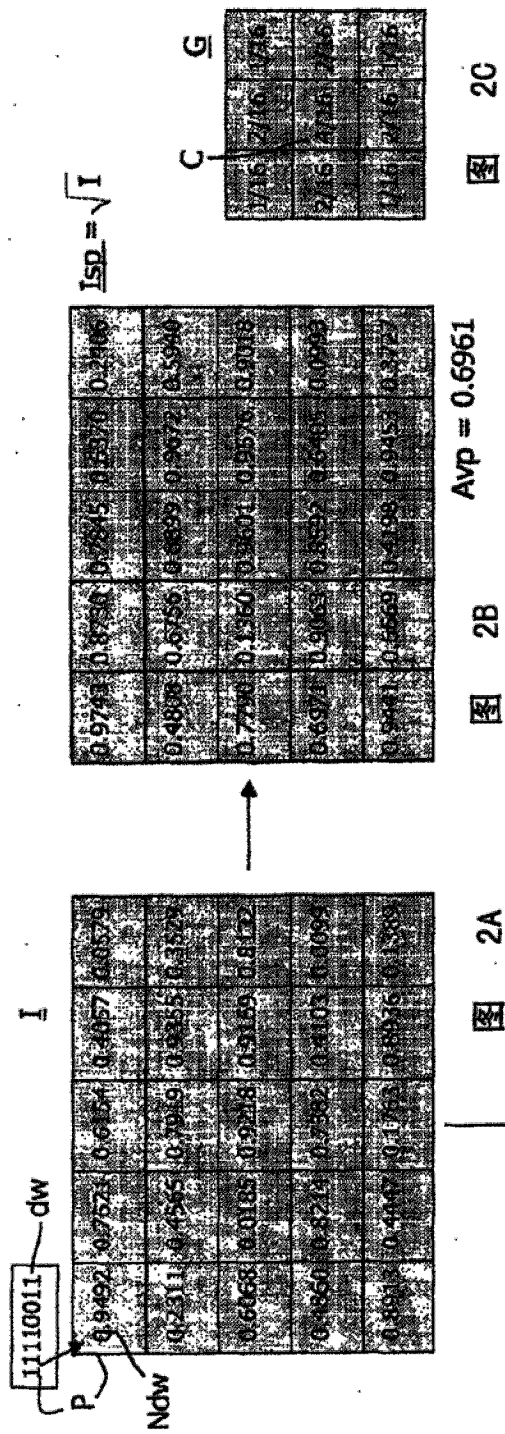


图 1D



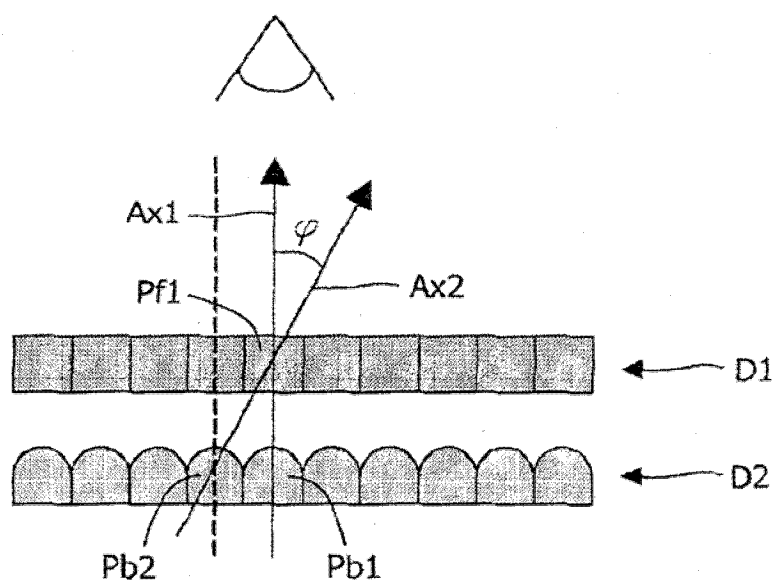
DD1

图 3

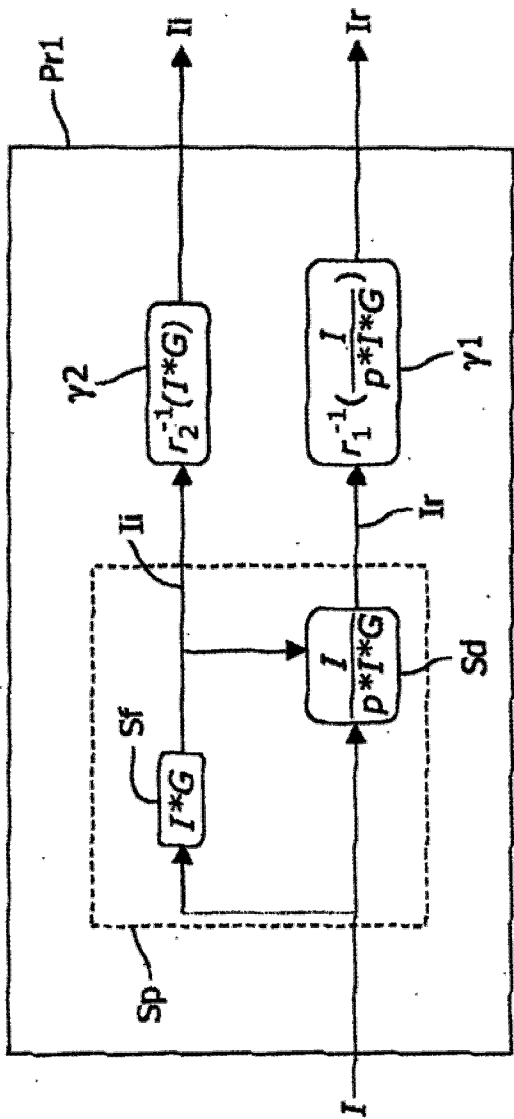


图 4A

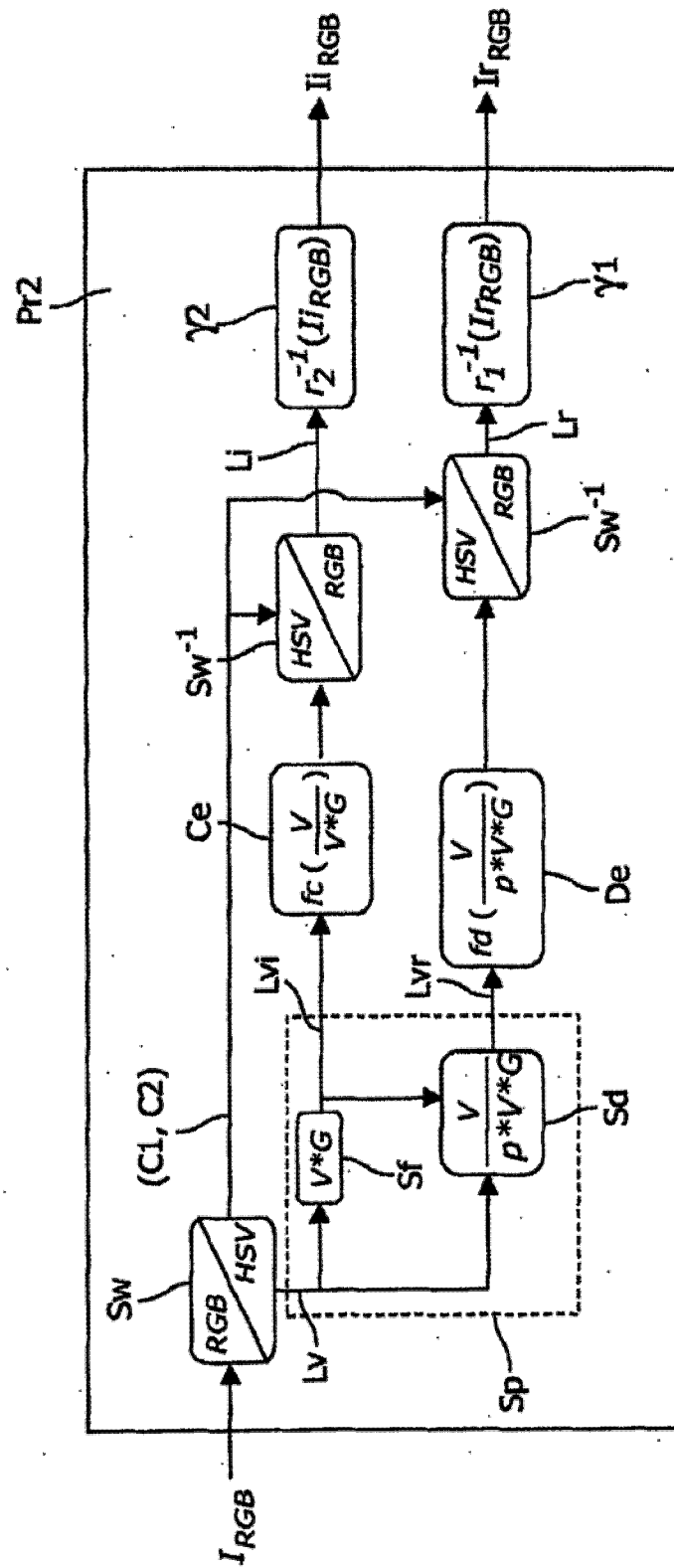


图 4B

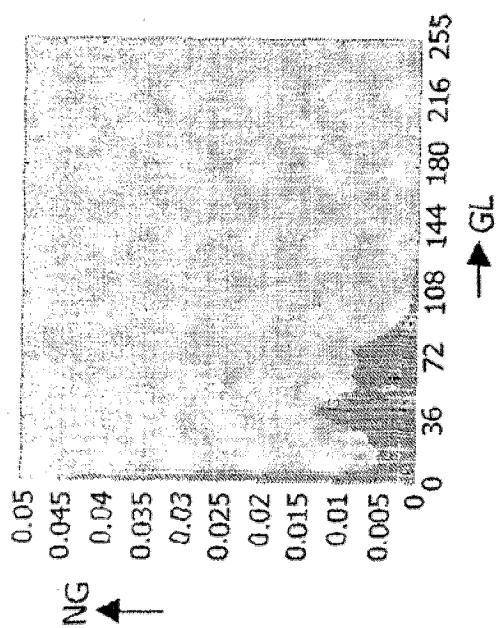


图 5A

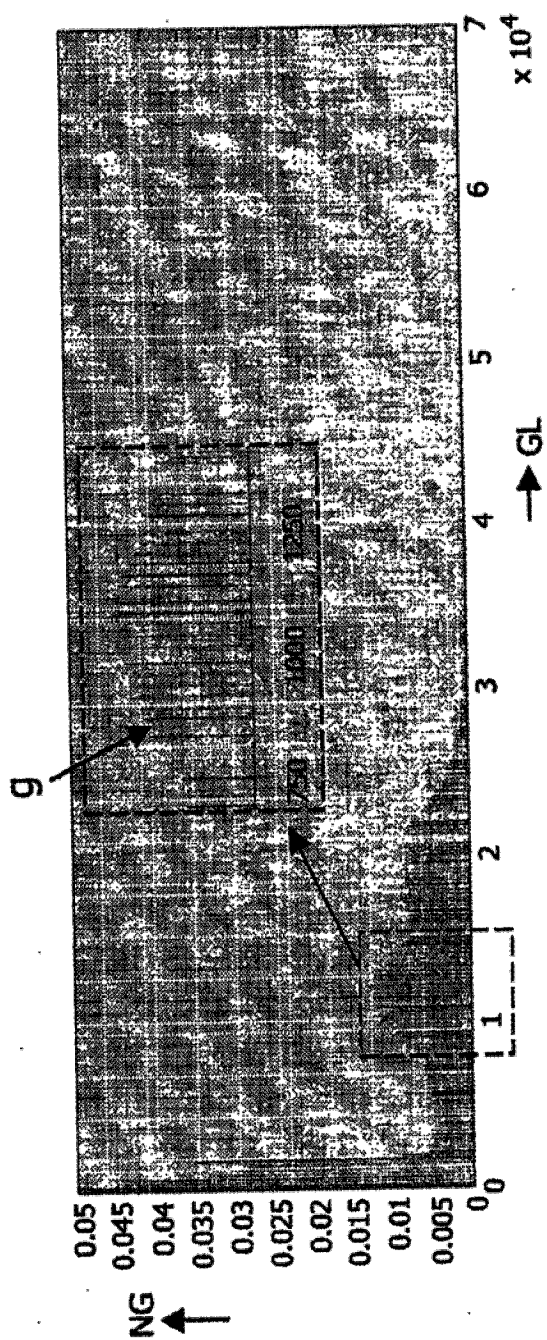


图 5B

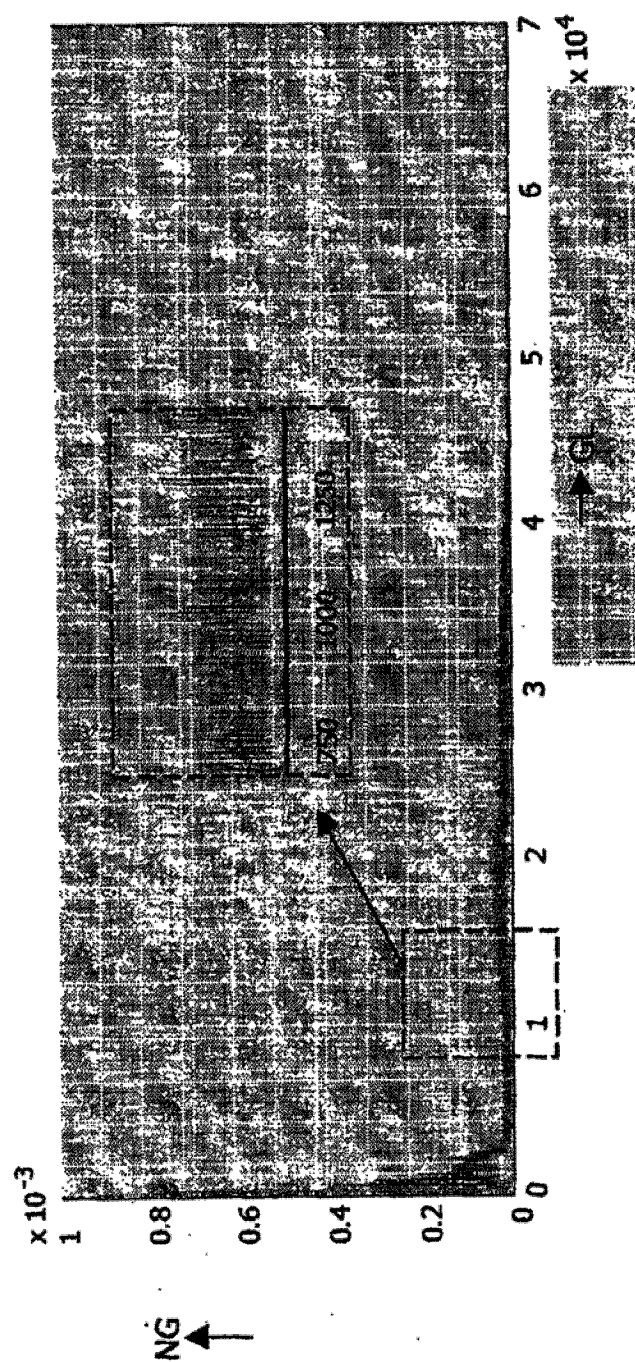


图 5C