

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G06K 9/40 (2006.01)

G06K 9/64 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580026770.2

[45] 授权公告日 2009 年 8 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 100524346C

[22] 申请日 2005.6.14

[21] 申请号 200580026770.2

[30] 优先权

[32] 2004.6.14 [33] US [31] 60/579,840

[86] 国际申请 PCT/US2005/021099 2005.6.14

[87] 国际公布 WO2005/124664 英 2005.12.29

[85] 进入国家阶段日期 2007.2.7

[73] 专利权人 普瑞科德公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 崔锦泰 王建忠

[56] 参考文献

US5819035A 1996.10.6

Scale – Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion. Pietro Perona, Jitendra Malik. IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, Vol. 12 No. 7. 1990

审查员 史江峰

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 王岳 王忠忠

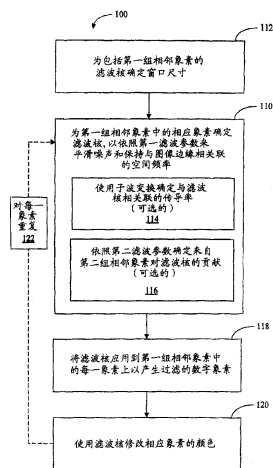
权利要求书 3 页 说明书 20 页 附图 18 页

[54] 发明名称

过滤数字图像的方法和系统、数字图像处理器

[57] 摘要

描述了一种过滤数字图像的方法。将滤波核应用于一组像素中的相应像素，以便依照第一滤波参数消除噪声和保持与数字图像中图像边缘相关联的空间频率。该滤波核是相应像素的函数，并且对相应像素具有闭合形式。滤波核包括来自第一组相邻像素的贡献，并具有内容相关的标准化，使得滤波核中元素的总和等于一个大体上固定的值。



1. 一种过滤数字图像的方法，包括：

对于数字图像的一组象素中的每个相应象素，产生所述相应象素的象素相关滤波核，并且将所述滤波核应用于所述相应象素，以便依照第一滤波参数来平滑噪声和保持与数字图像中的图像边缘相关联的空间频率，

其中该滤波核是相应象素的函数，对于相应象素具有闭合形式，并且包括具有基于第一组相邻象素值的元素，以及

其中象素组中的每个相应象素的滤波核具有相应象素的内容相关的标准化，使得滤波核中元素值的总和实质上等于一个固定的值。

2. 根据权利要求1的方法，其中所述应用包括相应象素的单遍扫描。

3. 根据权利要求1的方法，其中对象素组中的每一象素执行所述应用以便产生过滤的数字图像。

4. 根据权利要求3的方法，其中对过滤的数字图像的每一象素应用滤波核，而使过滤的数字图像实质上不变。

5. 根据权利要求1的方法，其中第一滤波参数确定平滑和锐化之间的边界。

6. 根据权利要求1的方法，其中通过减小数字图像中一位置处的噪声平滑，该第一滤波参数实质上维持数字图像中的纹理信息，所述数字图像包含比阈值更大的空间频率。

7. 根据权利要求1的方法，其中滤波核中的偏心元素包括第一组相邻象素中的象素和在各向异性扩散方程的离散化中相应象素之差的量，滤波核中的中心象素对应于相应象素，以及其中第一滤波参数使各向异性扩散方程的离散化中的时间步长映射到内容相关的标度。

8. 根据权利要求7的方法，其中各向异性扩散方程的离散化中的传导率是子波变换的函数。

9. 根据权利要求8的方法，其中该子波变换被实现为查询表。

10. 根据权利要求1的方法，还包括使用滤波核来修改象素的颜色。

11. 根据权利要求10的方法，其中修改颜色包括颜色分量。

12. 根据权利要求1的方法，其中滤波核包括具有基于第二组相

邻像素值的元素，并进一步与第二滤波参数一致。

13. 根据权利要求1的方法，其中滤波核对应于尺寸为 $(2m+1) \times (2n+1)$ 的窗口，并包括第一组相邻像素，其中 m 和 n 选自由1至50之间的正整数构成的组。

14. 根据权利要求13的方法，其中 m 等于 n 。

15. 根据权利要求1的方法，其中数字图像包括视频数据。

16. 根据权利要求1的方法，其中对象素组中的每一像素执行所述应用，以便产生预编码的数字图像，该方法还包括根据预定义的图像压缩方法来压缩该预编码的数字图像。

17. 一种过滤数字图像的方法，包括将滤波核应用到一组像素中的相应像素上，以依照滤波参数来平滑噪声和保持与数字图像中的图像边缘相关联的空间频率，产生过滤的像素，

其中所述过滤的像素对应于

$$\sum_{m,n} \frac{1}{\gamma} M \otimes U,$$

其中 M 是闭合形式的阵列，该阵列是相应像素的函数并具有 $(2m+1) \times (2n+1)$ 的窗口尺寸，其中 m 和 n 是正整数，并且 M 包括具有基于 $(2m+1) \times (2n+1)$ 组相邻像素值的元素， U 是像素组中的子阵列并包括相应像素和相邻像素组， $\otimes$ 表示 M 中元素和 U 中元素的逐个元素的乘积，并且 γ 是内容相关的标准化因子，使得阵列 $\frac{1}{\gamma} M$ 中元素的总和实质上等于一个固定的值。

18. 一种数字图像处理器，包括：

存储器；

处理器；和

产生装置，用于对于数字图像的一组像素中的每个相应像素，产生所述相应像素的像素相关滤波核，和

应用装置，用于将所述滤波核应用于所述相应像素，以便依照第一滤波参数来平滑噪声和保持与数字图像中的图像边缘相关联的空间频率，

其中滤波核是相应像素的函数，对于相应像素具有闭合形式，并且包括具有第一组相邻像素值的元素，以及

其中像素组中的每个相应像素的滤波核具有相应像素的内容相

关的标准化,使得滤波核中元素值的总和实质上等于一个固定的值。

19.一种过滤数字图像的系统,包括:

应用装置,用于将滤波核应用于一组象素中的相应象素,以便依照第一滤波参数来平滑噪声和保持与数字图像中的图像边缘相关联的空间频率,产生过滤的象素,

其中所述过滤的象素对应于

$$\sum_{m,n} \frac{1}{\gamma} M \otimes U,$$

其中M是闭合形式的阵列,该阵列是相应象素的函数并具有 $(2m+1) \times (2n+1)$ 的窗口尺寸,其中m和n是正整数,并且M包括具有基于 $(2m+1) \times (2n+1)$ 组相邻象素值的元素,U是象素组中的子阵列并包括相应象素和相邻象素组, $\otimes$ 表示M中元素和U中元素的逐个元素的乘积,并且 γ 是内容相关的标准化因子,使得阵列 $\frac{1}{\gamma} M$ 中元素的总和实质上等于一个固定的值。

过滤数字图像的方法和系统、数字图像处理器

相关申请的交叉参考

本申请要求 2004 年 6 月 14 日提交的、标题为“用于图像清理和预编码的方法和系统”的美国临时申请 60/579,840 的优先权，在此将其内容引入作为参考。

技术领域

本发明一般地涉及图像处理，更加具体地涉及图像和视频清理和预编码。

背景技术

传统的图像噪声去除（或减小）算法可以分为两类：统计方法和核方法。一种统计方法的算法是中值滤波。在中值滤波中，将在图像中要被清理的一组（有噪声的）象素中的相应象素的值确定为特定窗口中的中间象素值，该窗口在相应象素处的中心。尽管中值滤波在去除或降低脉冲噪声中是有效的，但是它通常难以去除高斯（白）噪声，并且可能使图像模糊（即图像会被平滑）。当窗口例如在具有高百分比的脉冲噪声的图像中较大时，模糊可能更加明显。

另一种统计方法即顺序统计量（OS）滤波可提供减小数量或程度的模糊。在顺序统计量滤波中，窗口中的象素组按照有序序列排列，并使用合适的预定加权按该序列的线性组合替代相应象素。然而，对于图像中的每一象素使用的是同样的窗口（形状和尺寸）和同样的加权。因此，常常难以保持或维持总体的图像锐度。

核方法例如是移动平均（MA）滤波、无限冲激响应（IIR）或自回归移动平均（ARMA）滤波法（即与自回归反馈相结合的 MA）以及卷积滤波，其在减小高斯噪声方面更加有效，但是在减小脉冲噪声发明效率较低。此外，根据滤波系数（也称为滤波器加权），核方法在保持图像锐度方面具有比统计方法更大的困难。

传统的图像滤波包括统计方法和核方法，其通常可通过图像平滑以及通过损失图像锐度来实现噪声降低。这可能导致图像过分模糊。

在试图修改这些方法来保持一定量的图像锐度（例如，对于每一像素根据负梯度使用卷积遮罩）时，这种方法必然增大计算成本和复杂性，并且常常要使用多级图像处理（即图像处理的多次迭代）。

近来在图像噪声去除方面的进展包括“最大后验”（MAP）和变分方法。该 MAP 方法本质上是统计学的（即离散的）。该变分方法是分析的，其常常作为能量函数的最小化问题而提出，该最小化问题常常定义为弯曲或内部（“先验”）能量函数的总和。当内部能量函数调节输出的图像质量时，外部能量函数测量对被清理的输入图像的近似性。可以使用正常数作为用于相比于输入的有噪声图像（由外部能源调节），来平衡输出的“干净”图像的图像（平滑度/锐度）质量和保真度的参数。解决能量最小化问题的欧拉-拉格朗日方程的最速下降方法会引起（各向同性和各向异性的）扩散和扩散反应的偏微分方程（PDE）。尽管变分方法和其他近来的相关方法（如各向异性扩散或扩散反应的 PDE 的数值解）通常提供对如上所述的传统算法的改进，但是该改进通常必然会增大计算成本和复杂性，并且常常使用多级图像处理。

因此，需要一种改进的图像处理方法，该方法可去除或减小图像中的噪声，同时大体上保持图像内容（例如图像结构和图像边缘）。此外需要减小计算成本、减小复杂性和单遍扫描或减小图像处理过程中的级数。

发明内容

描述了一种过滤数字图像的方法。将滤波核应用于一组像素中的相应像素，以便依照第一滤波参数来平滑噪声和保持与数字图像中的图像边缘相关联的空间频率。该滤波核是相应像素的函数，并且对于相应像素具有闭合形式。滤波核包括来自第一组相邻像素的贡献（contribution），并具有内容相关的标准化，使得滤波核中元素的总和等于一个大体上固定的值。可替换地说法是，元素的总和等于或近似等于固定值。

所述应用包括相应像素的单遍扫描。可以对象素组中的每一像素执行该应用，以便产生过滤的数字图像。对象素组中的每一像素应用滤波核附加的一次或多次可以使过滤的数字图像大体上不变。

第一滤波参数可以确定平滑和锐化之间的边界。通过减小数字图像中一位置处的噪声平滑,该第一滤波参数可以大体上维持数字图像中的纹理信息,所述数字图像包含比阈值更大的空间频率。

滤波核中的偏心元素包括第一组相邻象素中的象素和在各向异性扩散方程的离散化中相应象素之差的量。滤波核中的中心象素对应于相应象素。第一滤波参数可以在各向异性扩散方程的离散化中使时间步长映射到内容相关的标度(scale)。在各向异性扩散方程的离散化中的传导率是子波变换的函数。来自传导函数的离散传导元素可以实现为查询表。

滤波核可对应于尺寸为 $(2m+1) \times (2n+1)$ 的窗口,并可包括第一组相邻象素。滤波核的 m 和 n 是象素尺寸的函数。 m 可以等于 n 。

在一些实施例中,该方法还包括使用滤波核修改颜色或象素的颜色分量。

在一些实施例中,滤波核包括来自第二组相邻象素的贡献,并进一步与第二滤波参数一致。

在过滤数字图像的方法的一个可替换实施例中,将滤波核应用到象素组中的相应象素上,以依照滤波参数来平滑噪声和保持与数字图像中的图像边缘相关联的空间频率。过滤的象素对应于

$$\sum_{m,n} \frac{1}{\gamma} M \otimes U,$$

其中 M 是闭合形式的阵列,该阵列是相应象素的函数并具有 $(2m+1) \times (2n+1)$ (m 和 n 是正整数)的窗口尺寸, M 包括来自 $(2m+1) \times (2n+1)$ 组相邻象素的贡献, U 是象素组中的子阵列并包括相应象素和相邻象素组, $\otimes$ 表示 M 中元素和 U 中元素的逐个元素的乘积, γ 是时间比上内容相关标度,导致滤波核 M 的标准化,使得 $\frac{1}{\gamma} M$ 中元素的总和等于或近似等于一个固定的值。

过滤数字图像的方法和相关装置可提供减小的噪声,同时大体上保持图像内容。该方法和相关装置还可以在数字图像的处理中提供减小的计算成本、减小的复杂性和单遍扫描或减小的级数。

附图说明

为了更好地理解本发明,可以结合随附的附图参考下面详细的说明,其中:

图 1 是示出了过滤数字图像的过程的实施例的流程图。

图 2 是示出了过滤数字图像的过程的实施例的流程图。

图 3 是示出了客户端或服务器的实施例的方框图。

图 4 是示出了设备的实施例的方框图。

图 5 是示出了过滤数字图像的过程的实施例的流程图。

图 6 是示出了转变参数的方框图。

图 7 是示出了在图像边缘上一点处的局部坐标的方框图。

图 8 是示出了确定滤波核的过程的实施例的流程图。

图 9 是示出了图像片中一组像素的方框图。

图 10 是示出了将滤波核构建在图像片的边角处的相应像素的过程的实施例的流程图。

图 11 是示出了将滤波核构建在图像片边界上的相应像素的过程的实施例的流程图。

图 12 是示出了将滤波核构建在图像片内部的相应像素的过程的实施例的流程图。

图 13 是示出了构建和使用滤波核的过程的实施例的流程图。

图 14 是示出了构建和使用滤波核的过程的实施例的流程图。

图 15 是示出了过滤数字图像的过程的实施例的流程图。

图 16 是示出了过滤用于图像压缩或在图像压缩中的 P 或 B 帧的过程的实施例的方框图。

图 17 是示出了过滤用于图像压缩或在图像压缩中的宏块的过程的实施例的方框图。

图 18 是示出了过滤三维数字图像的过程的实施例的方框图。

图 19 是示出了未过滤的和过滤了的数字图像的实施例的方框图。

在所有附图中同样的参考数字表示对应的部件。

具体实施方式

现在将详细地参考实施例，该实施例的实例在随附的附图中示出。在下面详细的说明中，为了提供对本发明的全面理解，阐明了多个具体的细节。然而，对本领域技术人员来说显而易见的是，本发明可以在没有这些具体细节的情况下实施。在其他情况下，为了不至于使实施例的形态不清楚，没有详细地描述公知的方法、步骤、元件和电路。

描述了一种图像处理方法以及相关的装置和系统。该图像处理位于计算上有效率的滤波核的中心，该滤波核可改进图像质量（例如减小或去除噪声），减小通信带宽和/或减小数字图像或一组图像（例如视频）的存储尺寸，同时保持和/或增强图像内容。滤波核可以作为预滤波器或预编码器包括在图像和视频压缩系统中，该系统使用图像和视频压缩技术例如 JPEG、JPEG-2000、MPEG、H263 或 H264。在视频压缩的应用中，滤波核可以用来预过滤 I 帧、P 帧、B 帧和/或宏块，以及在所谓的运动补偿的图像立方的 3 维预过滤中使用。滤波核可以在扫描仪、打印机、数字照相机（在移动电话、其它便携设备和/或单独的照相机中）和可携式摄像机中使用以及在图像的后处理中使用。滤波核可以实现到软件和/或硬件中，例如特定用途集成电路（ASIC）、现场可编程门阵列（FPGA）、数字信号处理（DSP）或其它集成电路中。在一些实施例中，滤波核具有闭合形式。滤波核可以在单遍扫描中应用于对应于相应图像的一组象素，以便产生过滤的图像。随后将滤波核应用到过滤的图像上可使过滤的图像大体上不变。例如，在一个或多个空间频率处的量值变化小于预过滤值的 5 至 10%。如果多次应用滤波核，与滤波核相关联的一个或多个平滑度/锐度参数可以不变或者被修改。

滤波核是非线性的和内容相关的（下文表示为内容相关的滤波器或 CDF）。对于图像中的相应象素组，2 维的 CDF 对应于 $(2m+1) \times (2n+1)$ （对于任意的正整数 m 和 n ）的窗口或滤波器尺寸。该 CDF 基于各向异性扩散的模型和/或各向异性扩散反应的模型。在各向异性扩散的模型中传导项的梯度运算可以沿水平和/或垂直方向由子波变换替换。不计算获得的偏微分方程（PDE）的数值解，这会需要许多的迭代步骤，而是引入一个或多个时间-标度变换。这些变换可把在 PDE 的离散化中恒定的时间步长参数映射到一个或多个内容相关的标度，对于图像或图像的子集中的每一象素来说该标度通常会变化。该映射与窗口中的中心象素和窗口中一组或多组相邻象素中的相应象素之间的差一致和/或通过一个子波变换。因此一般地，对于待处理的每一象素来说得到的 CDF 会变化，即对于不同的（或者更加一般地，具有局部图像内容的）象素值来说滤波系数或滤波加权会变化。然而，CDF 可以具有闭合形式。同样地，可以在单次操作中执行每一象素的图像处理，即 CDF

可以是单遍扫描滤波器。在一些实施例中，CDF 可以以多遍扫描开实现，但是具有比传统的图像滤波器（其可能使用多达 100 次运算或阶段）更少的运算或阶段。

在构建 CDF 的过程中，时间-标度变换（也称为时间-标度映射）可以根据期望的 CDF 的窗口尺寸而采取不同的形式。该窗口尺寸与图像中的像素尺寸和/或图像分辨率一致。例如，对于较小的像素尺寸（高分辨率）来说图像中的噪声可以在几个像素上扩展。因此，在这种情况下可以使用较大的窗口。下面对于几个滤波器窗口尺寸（包括 3×3 的窗口）的推导的描述可以扩展成任意窗口尺寸，以及扩展成具有 3 维窗口的滤波器，以便去除或减小 3 维图像中的图像噪声。同样地，可认为该推导是说明性的一般方法。时间-标度变换包括至少一个用于调节图像的平滑度/锐度的参数。至少一个参数可以是预定义的，或者可以自动和/或手动地进行调节。该调节与光强、快门速度和/或图像中的图像内容一致。通过减小图像中一位置处的噪声平滑度，至少一个参数可以维持图像中的纹理信息，所述图像包含比阈值更大的空间频率。

现在我们转向用于过滤数字图像的过程以及相关的装置和系统的实施例。图 1 是示出了过滤数字图像的过程的实施例 100 的流程图。为滤波过程可确定用于滤波核的窗口尺寸，其包括第一组相邻像素。可以为第一组相邻像素（110）中的相应像素确定或构建滤波核，如用于 CDF 的滤波核。该滤波核可依照第一滤波参数平滑噪声并保持与图像边缘相关联的空间频率。可以使用可选择的子波变换确定与滤波核相关联的传导率（114）。可选地依照第二滤波参数确定来自第二组相邻像素对滤波核的贡献（116）。将滤波核应用到第一组相邻像素中的每一像素（包括中心像素）上，以便产生过滤的数字像素（118）。可选地使用对应的滤波核修改相应像素的颜色（120）。对于像素组中的附加像素可以重复一次或多次所述过程（122）。对于一个或多个彩色通道可以重复一次或多次所述过程。相应彩色通道可以是 RGB、Y Cb Cr、YUV 或 YIQ 彩色通道。对于图像中的至少一个像素的子集来说，所述过程 100 可以重复多次，包括至少一次迭代。在一些实施例中，可以使用并行的处理器或电路并行地处理多个像素。过程 100 可以包括更少的运算和/或附加运算。此外，两种或多种运算可以组合在一起和/或

可以修改运算的顺序。

图 2 是示出了过滤数字图像的过程 200 的实施例的流程图。客户端设备 210 (例如包括图像传感器的设备) 将一组像素 (214) 发送给服务器设备 (例如包括处理器、DSP 或 ASIC 的设备) 212。接收像素组 (216)。可选地为该像素组中的每一像素确定或构建一个或多个滤波核 (218)。将相应滤波核应用到该像素组中的每一像素上, 以便产生过滤的数字图像 (220)。将该过滤的数字图像发送 (222) 给客户端设备 (210)。接收过滤的数字图像 (224)。所述过程 200 可以包括更少的运算或附加运算。此外, 两种或多种运算可以组合在一起和/或可以修改运算的顺序。

图 3 是示出了客户端计算机、客户端设备或服务器设备 (例如包括处理器、DSP、或 ASIC 的设备) 300 的实施例的方框图。该客户端计算机、客户端设备或服务器设备 300 包括至少一个数据处理器、视频处理器和/或中央处理单元 (CPU) 310、一个或多个可选择的用户接口 314、用于和其他计算机、服务器和/或设备 400 (图 4) 通信的通信或网络接口 322、存储器 324 和一个或多个用于将这些部件彼此连接在一起的通信总线或信号线 312。该至少一个数据处理器、视频处理器和/或中央处理单元 (CPU) 310 可支持多线程和/或并行的处理。用户接口 314 具有一个或多个显示器 316、键盘 318 和/或指示器 320 (例如鼠标)。客户端或服务器设备 300 包括一个或多个高速缓冲存储器 308, 该高速缓冲存储器可用作至少一组像素的子集的滚动缓冲器。

存储器 324 包括高速随机存取存储器和/或非易失性存储器, 包括 ROM、RAM、EPROM、EEPROM、一个或多个闪速磁盘驱动器、一个或多个光盘驱动器和/或一个或多个磁盘存储设备。存储器 324 可以存储操作系统 326, 如 LINUX、UNIX、OS9 或 WINDOWS, 该操作系统包括用于处理基本系统服务和用于执行硬件相关的任务的进程 (或一组指令)。存储器 324 还可以将通信程序 (或一组指令) 存储在网络通信模块 328 中。该通信程序可以用于和一个或多个计算机、服务器和/或设备 400 (图 4) 通信。

存储器 324 还包括下面的元素、或者这种元素的子集或超集, 包括图像处理模块 330 (或一组指令)、子波变换模块 336 (或一组指令)、颜色变换模块 338 (或一组指令)、编码/解码模块 340 (或一组指令)

如 JPEG 或 MPEG、一组或多组像素 342 和/或一个或多个过滤的数字图像 344。该图像处理模块 330 包括滤波核发生器 332 和/或一个或多个滤波核 334。在一些实例中，存储器 324 进一步包括图像压缩模块 350，用于利用图像或视频压缩方法（例如 JPEG、JPEG-2000、MPEG、H263 或 H264）产生过滤和压缩的图像 352，来压缩过滤的数字图像 344。

尽管图 3 示出了作为多个离散项的客户端或服务器 300，但是图 3 是表示对出现在客户端或服务器 300 中的各个特征的功能描述，而不是在这里描述的实施例的结构图解。实际上，正如本领域技术人员所认识到的，客户端或服务器 300 的功能可以分配到多个服务器或客户端上，同时各组客户端或服务器执行这些功能的特定子集。在图 3 中单独示出的项可以组合在一起，一些项可以是单独的和/或可以包括其它项。

图 4 是示出了设备 400 的实施例的方框图，所述设备例如是包括照相机、数码相机或可携式摄像机的移动电话。该设备 400 包括一个或多个数据处理器、视频处理器和/或中央处理单元（CPU）410、一个或多个可选的用户接口 414、一个或多个图像传感器 418、用于和其它计算机、服务器和/或设备 400 通信的通信接口 422（例如 USB）、存储器 424 和用于将这些部件彼此连接的一个或多个通行总线或信号线 412。所述一个或多个数据处理器、视频处理器和/或中央处理单元（CPU）410 可支持多线程和/或并行数据处理。用户接口 414 具有一个或多个显示器 416 和/或一个或多个按键或键盘。设备 400 还包括电源 420。设备 40 包括一个或多个高速缓冲存储器 408，其可用作一组像素的至少一个子集的滚动缓冲器。

存储器 424 包括高速随机存取存储器和/或非易失性存储器，包括 ROM、RAM、EPROM、EEPROM、一个或多个闪速磁盘驱动器、一个或多个光盘驱动器和/或一个或多个磁盘存储设备。存储器 424 可以存储嵌入式操作系统 426，如 LINUX、OS9、UNIX 或 WINDOWS 或适合于在工业或商业设备上使用的实时操作系统（例如风河系统公司的 Vx Works）。该嵌入式操作系统 426 包括用于处理基本系统服务和用于执行硬件相关的任务的进程（或一组指令）。存储器 424 还可以将通信程序（或一组指令）存储在通信模块 428 中。该通信程序可以用于和一个或多个计算机、服务器和/或设备 400（图 4）通信。

存储器 424 还包括下面的元素、或者这种元素的子集或超集, 包括图像处理模块 430(或一组指令)、子波变换模块 436(或一组指令)、颜色变换模块 438(或一组指令)、编码/解码模块 440(或一组指令)如 JPEG 或 MPEG、一组或多组象素 442。该图像处理模块 430 包括滤波核发生器 432 和/或一个或多个滤波核 434。该设备 400 还包括一个或多个过滤的数字图像 444。该过滤的数字图像 444 可以存储在存储器 424 或单独的非易失性存储器中, 如闪速存储器, 该存储器是可移除的。在一些实例中, 存储器 424 进一步包括图像压缩模块 450, 用于利用图像或视频压缩方法(例如 JPEG、JPEG-2000、MPEG、H263 或 H264)产生过滤和压缩的图像 452, 来压缩过滤的数字图像 444。

尽管图 4 示出了作为多个离散项的设备 400, 但是图 4 是表示对出现在设备 400 中的各个特征的功能描述, 而不是在这里描述的实施例的结构图解。在图 4 中单独示出的项可以组合在一起, 一些项目可以是单独的和/或可以包括其它项。

图 5 是示出了过滤数字图像或视频的过程的实施例 500 的流程图。接收有噪声的图像(510)。可选地预处理图像(512), 预处理包括模数转换(如果必要)和/或颜色变换。将一个或多个滤波核应用到多个通道上(514)。清理相应颜色空间中的图像(516)。对图像进行编码(518), 例如, 使用 JPEG 或 MPEG 压缩。流程图 500 包括更少的运算或附加的运算。此外, 两种或多种运算可以组合在一起和/或可以修改运算的顺序。

现在将注意转向用于 CDF 的滤波核。如前面所论述的, 用于噪声去除或减小的传统的图像处理包括 MAP 和变分方法。对于变分方法可以使用基于各向异性扩散的 PDE 的方法, 以及基于各向异性扩散反应的 PDE 的方法。这里可以使能量函数最小化, 使得扩散模型的对应传导函数 c 不是恒定的, 从而得到非线性的 PDE。一般地, 可以使用迭代处理用数字解出这种非线性的 PDE。

一些传统的方法通过将传导率 c 定义为函数 $c(p) = \varphi'(p)/p$ 而可以扩展基于各向异性扩散的 PDE 的方法, 所述函数对应于可微的非递减函数 $\varphi(p)$, 其中 $\varphi(0) = 0$ 。(如果 $\varphi(p)$ 是内部能量泛函的内部能量密度函数, 那么解出最小能量问题中的欧拉-拉格朗日方程的最速下降方法对于外部能量的离散公式可得到各向异性扩散的 PDE, 对于外部能量的

连续公式可得到扩散反应的 PDE)。函数 $\varphi''(p)$ (其中双引号表示二阶导数) 作为 p 的函数如图 6 所示, 其中 $p=|\nabla u|$, u 的空间梯度的量值, 该量值是在某一时间时刻处各向异性扩散的方程的 (未知) 解。一种内部能量密度函数的通用选择是 $\varphi(p)=p$ 。对于该选择, 对应的传导函数 $c(p)=1/p$ 。较小的 p 值对应于图像内容的快速分散。因此, 图像细节如图像结构和光图像边缘可能在图像处理的过程中丢失。较大的 p 值对应于图像内容中边缘的锐化。尽管在这些极值之间存在连续变分, 但是表示为转变参数 p_0 的零交叉可分离这两种状态。

图 7 是示出了在图像边缘上某一点处局部坐标系的方框图, 包括横向的单位矢量 t 和法向的单位矢量 n 。当 $p=|\nabla u|$ (图 6) 大于转变参数 p_0 时, 会由于沿法向单位矢量 n 的反向扩散而产生锐化。注意, 法向单位矢量 n 是沿 (未知) 解 u 的梯度方向的单位矢量, 利用右手规则使横向单位矢量 t 垂直于 n 。当 $p=|\nabla u|$ (图 6) 小于转变参数 p_0 时, 会沿着法向单位矢量 n 产生最小扩散, 并因此不容易看到模糊。对于转变参数 p_0 的适当选择, 可以保持或增强图像锐度同时去除或减小图像噪声。然而如前所论述的, 基于各向异性扩散的 PDE 的这些和其他模型增大了复杂性, 并增大了用来找到数值解的计算量。典型地, 非线性各向异性扩散的 PDE 的这些和其他解使用了多次迭代或多级图像处理。例如, 可以使用不变的时间步长参数 Δt 使 PDE 离散化, 从而公式化非线性的差分方程。有噪声的输入图像可用作 PDE 的初始条件。对应于“干净的”输出图像的数值解通常包括多个迭代步骤或运算 (达到 100 或更大), 并取决于用于终止迭代过程的停止时间的特定选择。

在下面描述的 CDF 的推导中, 使各向异性扩散的 PDE 离散化。在其他实施例中, 使相关的非线性 PDE 如扩散反应的 PDE 离散化。有噪声的图像可用作初始条件。传导函数 $c(p)$ 定义为 $p=|\nabla u|$ 的函数。在示例性的实施例中, 传导函数可以是

$$c(p) = e^{\frac{-p^2}{2p_o^2}},$$

$$c(p) = \frac{p_o^2}{p_o^2 + p^2},$$

或者

$$c(p) = \min(1, \frac{1}{p}).$$

代替在数值上求解 PDE，可以使时间参数映射到象素相关的标度。该标度消除了停止时间的使用，并允许图像处理在单遍扫描中实现。作为说明性的实施例，可以考虑 3×3 的滤波器窗口。此外还示出了 6×5、5×5 和 7×7 的滤波器窗口的结果。对本领域技术人员来说很明显的是，也可以构建具有更大的滤波器尺寸的 CDF，以及 3 维的 CDF。

下面推导的 CDF 在水平方向和垂直方向具有有限的滤波长度（CDF 的 3 维实施例也在三个方向具有有限的长度）。在被滤波的图像的至少一个子集中的每一象素具有其自身的 CDF 滤波器。在一些实施例中，这些 CDF 滤波器对应于在水平方向和垂直方向具有对称形状的窗口。该窗口对应于 $(2m+1) \times (2n+1)$ 的象素，其中 m 和 n 是任意正整数（对于 3 维实施例来说，沿第三方向的维数是 q ）。在一个示例性实施例中， m 和 n 是介于 1 和 50 之间的正整数（对于 3 维的实施例来说， q 是介于 1 和 10 之间的正整数）。在一些实施例中， m 可以等于 n ，即窗口可以是正方形。在一些实施例中，窗口可以是矩形。在一些实施例中，窗口具有非对称的形状，例如奇数×偶数的象素或偶数×奇数的象素。CDF 可以合并几个不同于上面描述的形式中的附加特征。在该过程中，图像处理可以以单次通过的方式实现，即以非迭代的方式。

为了对 CDF 更加有效，在一些实施例中，窗口中的项（entry）可以不具有任一的零滤波系数或加权。例如，当设计 3×3 的滤波器时，可以根据各向异性扩散模型的传导函数来确定滤波器矩阵 F_0^k 中的角落项。因此，在一些实施例中，可以依照窗口的尺寸使所有与窗口的中心象素相关的地理方向离散化，由此确定窗口中所有元素的项。

传导函数 $c|\nabla u|$ 的使用提出了难题，该函数是未知解 u 的空间梯度的量值的函数。特别地，由于该未知解 u 用于最初地表示输入图像数据，它可能被噪声污染，并且 u 的空间梯度值可以是不精确的，并具有很强的波动。为了解决这个问题，在离散的传导函数中输入图像的

空间梯度在水平和/或垂直方向可以由输入图像的子波变换替换。在可替换的实施例中，传导函数中输入图像的空间梯度可以修改成使得在应用梯度运算之前在（未知）解 u 上执行高斯卷积。当 CDF 以单遍扫描的方式应用时，如果可以多次应用 CDF，随后迭代可以或者不使用上面描述的传导函数 $c|\nabla u|$ 的修改版本，因为过滤的图像不再带有噪声。

此外，引入了时间-标度变换（也称为时间-标度映射）。这些变换使在各向异性扩散的 PDE 的离散化中恒定的时间步长参数 Δt （下文用 λ 表示）映射到一个或多个像素相关的标度。这些标度可公式化为有噪声的输入图像中的中心像素的函数，以及滤波器窗口中其相邻像素的函数。如下面进一步描述的，时间-标度变换与一个或多个参数相关联，所述参数可确定图像平滑度/锐度调节。该一个或多个参数可以用于产生令人满意的模糊效果，同时使某些个别图像边缘的锐度保持大体上完好。时间-标度变换的使用可以为 CDF 构建滤波核，而不用在数值上解出各向异性扩散或其它的 PDE。因此，当应用 CDF 来去除或减小图像中的噪声时，不需要迭代步骤和停止时间 k 。

在离散化之后，各向异性扩散的 PDE 可以表达为：

$$u_{ij}^{k+1} = u_{ij}^k + \frac{\Delta t}{h^2} [C_E^k \partial_E + C_S^k \partial_S + C_W^k \partial_W + C_N^k \partial_N] u_{ij}^k,$$

其中 u_{ij}^0 表示输入图像的第 (i, j) 个像素， u_{ij}^k 表示 k 次迭代（或 k 次迭代时间步长）之后差分方程的解（在第 (i, j) 个像素的位置），同时恒定的时间步长参数用 Δt 表示，相邻的像素距离用 h 表示。 C_E^k 、 C_S^k 、 C_W^k 和 C_N^k 表示沿东（E）、南（S）、西（W）、和北（N）的地理方向或沿与第一组相邻像素相关联的定向对传导函数 $c|\nabla u|$ 的离散化。下文中，这些都表示为离散的传导函数。由于传导函数 $c|\nabla u|$ 是未知解 $u=u(x, y, t)$ 的梯度的函数，其中 (x, y) 是空间坐标和 t 是时间变量，因此差分方程也取决于该未知解，因此也是图像内容相关的。在上面的公式中， ∂_E 、 ∂_S 、 ∂_W 和 ∂_N 表示应用于像素上的一阶空间差分，特别地

$$\begin{aligned}\partial_E u_{ij}^k &= u_{i+1,j}^k - u_{ij}^k \\ \partial_S u_{ij}^k &= u_{i,j-1}^k - u_{ij}^k \\ \partial_W u_{ij}^k &= u_{i-1,j}^k - u_{ij}^k \\ \partial_N u_{ij}^k &= u_{i,j+1}^k - u_{ij}^k.\end{aligned}$$

该差分方程可以重新表达为

$$u_{ij}^{k+1} = \left[1 - \frac{\Delta t}{h^2} (C_E^k + C_S^k + C_W^k + C_N^k) \right] u_{ij}^k + \frac{\Delta t}{h^2} C_E^k u_{i+1,j}^k + \frac{\Delta t}{h^2} C_S^k u_{i,j-1}^k + \frac{\Delta t}{h^2} C_W^k u_{i-1,j}^k + \frac{\Delta t}{h^2} C_N^k u_{i,j+1}^k.$$

反过来, 该差分方程可以依次被重新公式化为迭代象素相关的滤波过程, 其中滤波器用矩阵模板表示,

$$F_{ij}^k = \begin{bmatrix} 0 & \Delta t c_N^k / h^2 & 0 \\ \Delta t c_W^k / h^2 & 1 - \Delta t (c_N^k + c_E^k + c_S^k + c_W^k) / h^2 & \Delta t c_E^k / h^2 \\ 0 & \Delta t c_S^k / h^2 & 0 \end{bmatrix},$$

其中离散的传导函数 C_E^k 、 C_S^k 、 C_W^k 和 C_N^k 是第一组相邻象素以及中心象素的函数, 即

$$u_{ij}^k, u_{i+1,j}^k, u_{i,j-1}^k, u_{i-1,j}^k, u_{i,j+1}^k.$$

因此, C_E^k 、 C_S^k 、 C_W^k 和 C_N^k 也取决于象素位置 (i, j) 。然而为了计数简单, 没有显示下标 i, j 。在现有的迭代滤波方法中, 迭代滤波过程 ($k=0, 1, 2, \dots$) 可以用分量方式的矩阵乘法 (也称为逐项乘法或逐个元素的乘法) 描述, 其可由所有得到的矩阵分量的总和获得或由下式获得

$$u_{i,j}^{k+1} = \sum F_{ij}^k \otimes u_{ij}^k,$$

其中 u_{ij}^k 是在 k 次迭代后象素组中对应于滤波窗口的中心象素。

为了给具有 3×3 滤波器窗口的 CDF 构建滤波核, 也可以使沿东北 (NE)、东南 (SE)、西南 (SW) 和西北 (NW) 方向的第二组相邻象素离散化。该差分方程可以扩展成包括这 4 个附加象素,

$$u_{ij}^{k+1} = u_{ij}^k + \frac{\Delta t}{h^2} \left[(C_E^k \partial_E + \dots + C_N^k \partial_N) + v (C_{NE}^k \partial_{NE} + \dots + C_{NW}^k \partial_{NW}) \right] u_{ij}^k$$

其中 v 是独立进行调节的参数, 或者是可以耦合到 $\lambda = \Delta t$ 的参数, 从而对于图像的平滑度/锐度调节可以仅使用一个自由参数。通过定义一个内容相关的标度值, 可以修改 CDF 中的差分方程

$$k_{ij} = 1 + \frac{\alpha}{h^2} \left[(C_E^0 + \dots + C_N^0) + v (C_{NE}^0 + \dots + C_{NW}^0) \right],$$

其中 α 是对应于图像平滑度/锐度调节的参数, 并且通过引入时间-标度变换

$$\Delta t = \lambda \rightarrow \frac{\alpha}{k_{ij}},$$

该变换使恒定的时间-步长参数 Δt 映射到象素相关的也就是内容相关的标度 $\frac{\alpha}{k_{ij}}$ 。该得到的用于清理有噪声的输入图像的 CDF 是

$$u_{ij} = \sum F_{ij} \otimes u_{ij}^0.$$

符号 $\otimes$ 表示分量方式的矩阵乘法, 符号 $\sum$ 表示得到矩阵中所有分量或项的总和。注意, 迭代指数 k 不再存在。 3×3 的CDF可以用下面的矩阵模板表示

$$F_{ij} = \frac{1}{k_{ij}} \begin{bmatrix} \frac{\mu C_{NW}^0}{h^2} & \frac{\alpha C_N^0}{h^2} & \frac{\mu C_{NE}^0}{h^2} \\ \frac{\alpha C_W^0}{h^2} & 1 & \frac{\alpha C_E^0}{h^2} \\ \frac{\mu C_{SW}^0}{h^2} & \frac{\alpha C_S^0}{h^2} & \frac{\mu C_{SE}^0}{h^2} \end{bmatrix},$$

其中引入了另一图像平滑/锐化参数 $\mu = \alpha v$ (如前所述, 参数 α 可以和参数 μ 相耦合, 从而得到图像平滑/锐化调节的单个自由参数)。在一个示例性实施例中, $\mu = \alpha/4$ 。该CDF还可以明确地写为

$$u_{ij} = \frac{1}{k_{ij}} \left\{ \left(\frac{\mu C_{NW}^0}{h^2} u_{i-1,j+1}^0 + \frac{\alpha C_N^0}{h^2} u_{i,j+1}^0 + \frac{\mu C_{NE}^0}{h^2} u_{i+1,j+1}^0 \right) + \left(\frac{\alpha C_W^0}{h^2} u_{i-1,j}^0 + u_{ij}^0 + \frac{\alpha C_E^0}{h^2} u_{i+1,j}^0 \right) + \left(\frac{\mu C_{SW}^0}{h^2} u_{i-1,j-1}^0 + \frac{\alpha C_S^0}{h^2} u_{i,j-1}^0 + \frac{\mu C_{SE}^0}{h^2} u_{i+1,j-1}^0 \right) \right\}.$$

注意, 滤波器加权是相邻象素和中心象素之间差值与参数 (α 或 μ) 的乘积, 参数 (α 或 μ) 对应于第一组相邻象素或第二组相邻象素。还需注意, 内容相关的标度值 k_{ij} 与中心象素相关, 并确保矩阵 F_{ij} 被标准化, 从而滤波器加权或元素的总和等于或近似等于一个固定的值。滤波器加权的总和由于数值处理伪象等类似物而从该固定值略微变化。CDF中的偏心元素可以确定输入图像的平滑。

类似地, 可以确定或构建用于 3×5 、 5×5 和 7×7 的窗口的CDF。对于 3×5 的窗口, 该CDF可以公式化为

$$\begin{array}{ccccc} \lambda c_{i+1,j-2}/k_{i,j} & \beta c_{i+1,j-1}/k_{i,j} & \alpha c_{i+1,j}/k_{i,j} & \beta c_{i+1,j+1}/k_{i,j} & \lambda c_{i+1,j+2}/k_{i,j} \\ \omega c_{i,j-2}/k_{i,j} & \alpha c_{i,j-1}/k_{i,j} & 1/k_{ij} & \alpha c_{i,j+1}/k_{i,j} & \omega c_{i,j+2}/k_{i,j} \\ \lambda c_{i-1,j-2}/k_{i,j} & \beta c_{i-1,j-1}/k_{i,j} & \alpha c_{i-1,j}/k_{i,j} & \beta c_{i-1,j+1}/k_{i,j} & \lambda c_{i-1,j+2}/k_{i,j} \end{array}$$

注意, 通过使用指数 $(i+2, j+1) \dots (i-2, j+1)$ 已经考虑了附加方向 (NE-E, E-E, SE-E, SW-W, W-W, NW-W), 对应于附加相邻象素组的附加平滑/锐化参数已经包括在内。在该CDF的公式中使用的四个参数 ($\alpha, \beta, \gamma, \omega$) 可以结合在一起, 以产生一个或两个独立参数。典型的比例包 括 $1/2, 1/4, 3/4, 3/8, 5/8, 7/8, 1/16, 3/16,$

5/16, 7/16, 9/16, 11/16, 13/16, 15/16, 1/32, 3/32, 5/32, 7/32, 9/32, 11/32, 13/32, 15/32, 17/32, 19/32, 21/32, 23/32, 25/32, 27/32, 29/32 和 31/32。对于 5×5 的窗口，该 CDF 可以公式化为

$$\begin{array}{ccccc} \gamma c_{i-2,j+2}/k_{i,j} & \lambda c_{i-1,j+2}/k_{i,j} & \nu c_{i,j+2}/k_{i,j} & \lambda c_{i+1,j+2}/k_{i,j} & \gamma c_{i+2,j+2}/k_{i,j} \\ \lambda c_{i-2,j+1}/k_{i,j} & \beta c_{i-1,j+1}/k_{i,j} & \alpha c_{i,j+1}/k_{i,j} & \beta c_{i+1,j+1}/k_{i,j} & \lambda c_{i+2,j+1}/k_{i,j} \\ \nu c_{i-2,j}/k_{i,j} & \alpha c_{i-1,j}/k_{i,j} & 1/k_y & \alpha c_{i+1,j}/k_{i,j} & \nu c_{i+2,j}/k_{i,j} \\ \lambda c_{i-2,j-1}/k_{i,j} & \beta c_{i-1,j-1}/k_{i,j} & \alpha c_{i,j-1}/k_{i,j} & \beta c_{i+1,j-1}/k_{i,j} & \lambda c_{i+2,j-1}/k_{i,j} \\ \gamma c_{i-2,j-2}/k_{i,j} & \lambda c_{i-1,j-2}/k_{i,j} & \nu c_{i,j-2}/k_{i,j} & \lambda c_{i+1,j-2}/k_{i,j} & \gamma c_{i+2,j-2}/k_{i,j} \end{array}$$

在该 CDF 的公式中使用的五个参数 ($\alpha, \beta, \gamma, \omega, \nu$) 可以结合在一起，以产生一个或两个独立参数。典型的比例包括 1/2, 1/4, 3/4, 3/8, 5/8, 7/8, 1/16, 3/16, 5/16, 7/16, 9/16, 11/16, 13/16, 15/16, 1/32, 3/32, 5/32, 7/32, 9/32, 11/32, 13/32, 15/32, 17/32, 19/32, 21/32, 23/32, 25/32, 27/32, 29/32 和 31/32。对于 7×7 的窗口，该 CDF 可以公式化为

$$\begin{array}{cccccc} \sigma c_{i-3,j+3}/k_{i,j} & \chi c_{i-2,j+3}/k_{i,j} & \delta c_{i-1,j+3}/k_{i,j} & \kappa c_{i,j+3}/k_{i,j} & \delta c_{i+1,j+3}/k_{i,j} & \chi c_{i+2,j+3}/k_{i,j} & \sigma c_{i+3,j+3}/k_{i,j} \\ \chi c_{i-3,j+2}/k_{i,j} & \gamma c_{i-2,j+2}/k_{i,j} & \lambda c_{i-1,j+2}/k_{i,j} & \nu c_{i,j+2}/k_{i,j} & \lambda c_{i+1,j+2}/k_{i,j} & \gamma c_{i+2,j+2}/k_{i,j} & \chi c_{i+3,j+2}/k_{i,j} \\ \delta c_{i-3,j+1}/k_{i,j} & \lambda c_{i-2,j+1}/k_{i,j} & \beta c_{i-1,j+1}/k_{i,j} & \alpha c_{i,j+1}/k_{i,j} & \beta c_{i+1,j+1}/k_{i,j} & \lambda c_{i+2,j+1}/k_{i,j} & \delta c_{i+3,j+1}/k_{i,j} \\ \kappa c_{i-3,j}/k_{i,j} & \nu c_{i-2,j}/k_{i,j} & \alpha c_{i-1,j}/k_{i,j} & 1/k_y & \alpha c_{i+1,j}/k_{i,j} & \nu c_{i+2,j}/k_{i,j} & \kappa c_{i+3,j}/k_{i,j} \\ \delta c_{i-3,j-1}/k_{i,j} & \lambda c_{i-2,j-1}/k_{i,j} & \beta c_{i-1,j-1}/k_{i,j} & \alpha c_{i,j-1}/k_{i,j} & \beta c_{i+1,j-1}/k_{i,j} & \lambda c_{i+2,j-1}/k_{i,j} & \delta c_{i+3,j-1}/k_{i,j} \\ \chi c_{i-3,j-2}/k_{i,j} & \gamma c_{i-2,j-2}/k_{i,j} & \lambda c_{i-1,j-2}/k_{i,j} & \nu c_{i,j-2}/k_{i,j} & \lambda c_{i+1,j-2}/k_{i,j} & \gamma c_{i+2,j-2}/k_{i,j} & \chi c_{i+3,j-2}/k_{i,j} \\ \sigma c_{i-3,j-3}/k_{i,j} & \chi c_{i-2,j-3}/k_{i,j} & \delta c_{i-1,j-3}/k_{i,j} & \kappa c_{i,j-3}/k_{i,j} & \delta c_{i+1,j-3}/k_{i,j} & \chi c_{i+2,j-3}/k_{i,j} & \sigma c_{i+3,j-3}/k_{i,j} \end{array}$$

在该 CDF 的公式中使用的九个参数 ($\alpha, \beta, \gamma, \omega, \nu, \kappa, \delta, \chi, \gamma$) 可以结合在一起，以产生一个或两个独立参数。典型的比例包括 1/2, 1/4, 3/4, 3/8, 5/8, 7/8, 1/16, 3/16, 5/16, 7/16, 9/16, 11/16, 13/16, 15/16, 1/32, 3/32, 5/32, 7/32, 9/32, 11/32, 13/32, 15/32, 17/32, 19/32, 21/32, 23/32, 25/32, 27/32, 29/32, 31/32, 1/64, 3/64, 5/64, 7/64, 9/64, 11/64, 13/64, 15/64, 17/64, 19/64, 21/64, 23/64, 25/64, 27/64, 29/64, 31/64, 33/64, 35/64, 37/64, 39/64, 41/64, 43/64, 45/64, 47/64, 49/64, 51/64, 53/64, 55/64, 57/64, 59/64, 61/64, 63/64 和 65/64。

现在我们转向子波变换的实施例。图 8 是示出了确定或构建滤波核的过程的实施例 800 的流程图，所述滤波核包括前面描述的子波变换。接收图像 u (810)。使用 u 与低通滤波器 L 的卷积来产生过滤的图像 ($L*u$) (812)。在一些实施例中，沿水平方向和/或垂直方向的

L 的加权总和具有有限数值。 $(L*u)$ 的差分运算是沿水平或垂直方向的 u 的子波变换。如果该子波变换未沿两个方向之一应用，那么可以替代地沿该方向使用一阶差分运算。在一些实施例中，可以使用其他子波变换。确定子波变换 $(|\partial(L*u)|)$ 的量值或一阶差分 (814)。该数值可以量子化为相应传导电平 I (816)。可以对带噪声的输入图像使用子波变换 (代替一阶差分运算)。该结果可对应于对应的传导率 $c(i*2^{-n})$ (818)。流程图 500 包括更少的运算或附加的运算。此外，两种或多种运算可以组合在一起和/或可以修改运算的顺序。

如图 8 所示，有噪声的输入图像可以被修改以产生与传导函数相关联的离散传导元素。在一个示例性实施例中，代替用于离散的梯度运算的一阶差分，例如通过结合电平/传导率图表应用 u 的低通滤波的差分运算，可以代替地实现子波变换。在一个示例性实施例中，在 $c|\nabla u|$ 中 u 的空间梯度可以用 u 的一些离散的样条子波变换替换。例如 $c|\nabla u|$ 中的 ∇u 用 $\partial(L*u)=Wu$ 替换，其中 L 是与一些期望的基数 B 样条函数相关联的低通滤波器，符号 $*$ 表示标准的卷积运算，并且 Wu 表示离散的子波变换运算。算子 L 和 W 可以沿相应 (地理) 方向相对有噪声的输入图像 u 的中心像素来确定。例如

$$\begin{aligned} W_E u_{i,j} &= \partial_E(L*u)_{i,j}, \quad W_S u_{i,j} = \partial_S(L*u)_{i,j}, \quad W_W u_{i,j} = \partial_W(L*u)_{i,j}, \quad W_N u_{i,j} = \partial_N(L*u)_{i,j}, \\ W_{NE} u_{i,j} &= \partial_{NE}(L*u)_{i,j}, \quad W_{SE} u_{i,j} = \partial_{SE}(L*u)_{i,j}, \quad W_{SW} u_{i,j} = \partial_{SW}(L*u)_{i,j}, \quad W_{NW} u_{i,j} = \partial_{NW}(L*u)_{i,j} \end{aligned}$$

在可替换的实施例中，可以在应用差分运算来产生期望的离散化之前使用高斯卷积作为 u 的低通滤波器。

表 1 示出了一个传导电平/传导函数图表的实施例，其使传导电平与离散传导元素的值相关联。如果输入图像对每个通道具有 r 位灰度级 (典型地， $r=8$) 并且使传导电平量子化为 s 位 (s 小于或等于 r 并且通常其范围介于 1 至 8)，那么 $p=|\nabla u|$ 的范围是序列 $[0, \dots, 2^r-1]$ 。如果使该序列量子化为 $2^{r-s}[0, \dots, 2^s-1]$ ，那么传导函数 $c(p)$ 将 $[0, \dots, 2^{s-1}]$ 映射到 $[c(0), c(2^{r-s}), \dots, c(2^{r-s}(2^s-1))]$ 。如前所述，传导函数的典型实例包括 $c(p)=e^{-p/k}$ ， $c(p)=e^{-p^2/K^2}$ ，和 $c(p)=K^2/(K^2+P^2)$ ，其中 K 对于所有图像像素是正整数，或者 (对于图像平滑度/锐度的调节) 可以自适应于相邻像素的值。在 K 作为全局标量的一个示例性实例中， K 可以是 50。对于许多图像，该数字几乎大于图像中梯度值的量值的 90%。获得的表格可以用于查询程序，如下面参考图 13 和 14 进一步描述的，

其中有噪声的 1 位图像（单个图像边缘可分离为 0 位的“黑色”部分和 1 位的“白色”部分）可认为是输入图像，相应（中心）象素是图 13 中图像边缘上的象素，而不是图 14 中图像边缘上的象素。

表 1. 传导电平/传导函数表。

电平 (i)	0	1	...	2^s-1
传导率 $c(i \cdot 2^{r-s})$	$C(0)$	$C(2^{r-s})$	...	$C(2^{r-s}(2^s-1))$

现在我们转向附加的实施例，其示出了 CDF 的确定或构建和其使用。图 9 是示出了在图像、图像片、或图像块如尺寸为 5×5 的 P 或 B 帧（以视频压缩的方式）的宏块中的一组象素 900 的方框图。图 10、11 和 12 示出了对应的 2 维 CDF 的结构，其分别对于标记为 A、B 和 C 的象素组具有 3×3 的窗口，以便去除或减小 5×5 的图像片中的噪声。图 9 中的象素组 A 示出了用于图 10 中角象素 $u_{0,0}$ 的 CDF 的结构和应用。图 9 中的象素组 B 示出了用于图 11 中边界象素 $u_{i,0}$ 的 CDF 的结构和应用。图 9 中的象素组 C 示出了用于图 11 中内部中心象素 $u_{i,j}$ 的 CDF 的结构和应用。对于标记为 A 的象素组，中心象素是象素组 900 中的角象素。因此，它可以根据其 3 个相邻象素的象素值用一值替换。对于标记为 B 的象素组，中心象素是象素 900 组中的边界象素，它可以根据其 5 个相邻象素的象素值用一值替换。对于标记为 C 的象素组，中心象素是象素组 900 中的内部象素，它可以根据其 8 个相邻象素的象素值用一值替换。

图 10 是示出了为 CDF 构建滤波核并将该 CDF 应用于角象素 $u_{0,0}$ 的过程的实施例 1000 的流程图。将一阶差分运算应用于一组象素 1010，以产生使用电平和传导率图（如表 1 所示）进行映射的元素 1012，进而产生离散传导元素 1014。通过使离散传导元素 1014 的预定义子集与平滑和锐化参数 α 和 μ 相乘，可以构建滤波核 1016。在示例性的实施例中， α 近似介于 0.0625 和 1 之间， μ 近似介于 0 和 1 之间。例如， $\alpha=0.25$ 和 $\mu=0.0625$ 。元素 1016 与象素组 1010 逐个元素地相乘 1022，从而产生元素 1024。对元素 1024 (1025) 求和以产生值 $r_{0,0}$ 1026。也可以对元素 1016 (1018) 求和以产生时间-标度值 $k_{0,0}$ 1020，有时称为标准化值。值 $r_{0,0}$ 和时间-标度值 $k_{0,0}$ 1020 的比率 1027 是对应的过滤的输出象素值 1028。

图 11 是示出了为 CDF 构建滤波核并将该 CDF 应用于边界象素 $u_{i,0}$ 的过程的实施例 1100 的流程图。将一阶差分运算应用于一组象素 1110, 以产生使用电平和传导率图(如表 1 所示)进行映射的元素 1112, 进而产生离散传导元素 1114。通过使离散传导元素 1114 的预定义子集与平滑和锐化参数 α 和 μ 相乘, 可以构建滤波核 1116。该元素 1116 与象素组 1110 逐个元素地相乘 1122, 从而产生元素 1124。对元素 1124 求和 (1125) 以产生值 $r_{i,0}$ 1126。对元素 1116 求和 (1118) 以产生时间-标度值 $k_{i,0}$ 1120, 有时称为标准化值。值 $r_{i,0}$ 和时间-标度值 $k_{i,0}$ 1120 的比率 1127 是对应的过滤的输出象素值 1128, 其对应于输入象素值 $u_{i,0}$ 。

图 12 是示出了为 CDF 构建滤波核并将该 CDF 应用于内部(中心)象素 $u_{i,j}$ 的过程的实施例 1200 的流程图。将一阶差分运算应用于一组象素 1210, 以产生使用电平和传导率图(如表 1 所示)进行映射的元素 1212, 进而产生离散传导元素 1214。通过使离散传导元素 1214 的预定义子集与平滑和锐化参数 α 和 μ 相乘, 可以构建滤波核 1216。该元素 1216 与象素组 1210 逐个元素地相乘 1222, 从而产生元素 1224。对元素 1224 求和 (1225) 以产生值 $r_{i,j}$ 1226。对元素 1216 求和 (1218) 以产生时间-标度值 $k_{i,j}$ 1220, 有时称为标准化值。计算值 $r_{i,j}$ 1226 和时间-标度值 $k_{i,j}$ 1220 的比率 1227 以生成过滤的输出象素值 1228 ($r_{i,j}/k_{i,j}$), 其对应于输入象素值 $u_{i,j}$ 。

图 13 是示出了构建和使用用于 CDF 的滤波核的过程的实施例 1300 的流程图。将一阶差分运算应用于一组象素 1310 以产生元素 1311, 其中一中心象素位于图像边缘上(在图像片或阵列内)。该实例中的象素组 1310 表示图像的亮区域和暗区域之间的垂直边缘。使元素 1311 量子化为对应的传导电平, 以产生离散的传导函数值 1312, 并使用电平和传导率图表(如表 1 所示)进行映射以产生元素 1314。使元素 1314 的预定义子集与平滑和锐化参数 α 和 μ 相乘, 以产生滤波核 1316。象素组 1310 与滤波核 1316 逐个元素地相乘 (1322), 从而产生元素 1324。对元素 1324 求和 (1325) 以产生值 $r_{i,j}=28.9316$ (1326)。对滤波核元素 1316 求和 (1318) 以产生时间-标度值 $k_{i,j}=3.0015$ (1320)。计算值 $r_{i,j}$ 1326 和时间-标度值 $k_{i,j}$ 1320 的比率 1327, 以产生过滤的输出象素值 1328 ($r_{i,j}/k_{i,j}=9.6275$), 其对应于输入象素值 $u_{i,j}$ 。在该实例

中,过滤的象素 1328 可以量子化为数值 10。在实施例 1300 中, $\alpha=0.5$, $\mu=0.25$, $K=50$, 传导函数选择成

$$c(p) = e^{\frac{-p^2}{2p_0^2}}.$$

图 14 是示出了构建和使用用于 CDF 的滤波核的过程的实施例 1400 的流程图。将一阶差分运算应用于一组象素 1410 以产生元素 1411, 其中中心象素不在图像边缘上, 使元素 1411 量子化为对应的传导电平以产生离散的传导函数值 1412, 并使用电平和传导率图表(如表 1 所示)进行映射以产生元素 1414。使元素 1414 的预定义子集与平滑和锐化参数 α 和 μ 相乘以及逐个元素(或者以项的方式)相乘, 以产生滤波核 1416。现在将具有初始中心象素=230 的输入图像片 1410 与 CDF1416 逐个元素地相乘 1422, 从而产生元素 1424。对元素 1424 求和(1425)以产生值 $r_{i,j}$ (921.826) 1426, 并对 CDF 的元素 1416 求和 1418 以产生时间-标度值 $k_{i,j}$ (3.995) 1420。计算值 $r_{i,j}$ 1426 和时间-标度值 $k_{i,j}$ 1420 的比率 1427, 以产生过滤的输出象素值 (230.745) 1428, 其对应于输入象素值 $u_{i,j}$ 。过滤的象素 1428 可以量子化为数值 231。在实施例 1400 中, $\alpha=0.5$, $\mu=0.25$, $K=50$, 传导函数选择成

$$c(p) = e^{\frac{-p^2}{2p_0^2}}.$$

CDF 可以用作预编码器, 用于去除或减小图像中的噪声, 它可以是视频序列的 I 帧。例如, 在图 15 的实施例 1500 中, 8×8 的图像片 1512 或 I 帧由 CDF1514 处理。将过滤的图像 1516 的图像片或 I 帧发送到编码器 1518。该编码器 1518 包括离散的余弦变换 (DCT) 1520、量子化 1522 和熵编码 1524。输出具有较小比特率的编码位流 1526。流程图 1500 可以包括更少的运算和/或附加运算。此外, 两种或多种运算可以组合在一起和/或可以改变运算的顺序。

相应 CDF 可以作为预编码器集成到现有的编码器中, 例如 MJPEG、MPEG-1, 2, 4, 7 和 H263、AVC 或 H264。使用相应 CDF 或一组 CDF 产生的过滤的图像可与现有解码器兼容。CDF 的相应滤波核以用来在运动估计补偿中清理 I 帧、P 帧和/或宏块。图 16 是示出了这种过程的实施例 1600 的方框图。滤波核 1612 应用于运动补偿的 P 帧 1608, 并从过滤的 I 帧 1610(其示出于图 15 中)减去 1614。将 DCT1618 和量子化 1620 应用于得到的过滤的 B/P 帧 1616。

图 17 是示出了一过程的实施例 1700 的方框图,该过程可过滤 1718 数字图像或图像片如帧 1712,特别地,其可用于过滤 1718 16x16 的宏块以便于运动补偿。在一些实施例中,使用前面的 I 或 P 帧 1710 来确定运动矢量 1716-1 和/或使用随后的 P 或 B 帧 1714 来确定运动矢量 1716-2。如果帧 1712 是 P 帧则产生前者,如果帧 1712 是 B 帧则产生后者。

图 18 是过滤或预编码三维数字图像也就是图像立方的过程 1800 的实施例的流程图。在过程 1800 中,在将运动估计和补偿应用于 P 帧和 B 帧(其示出于图 17 中),以产生视频帧 1810、1812 和 1814 之后,产生 3 维 CDF 并应用 1816 它来减小或消除来自图像立方的噪声,该立方基于三个连续的视频帧 1810、1812、1814。在一些实施例中,例如 MJEP、视频帧 1810、1812 和 1814 是 I 帧。在一些实施例中,用于 CDF 的滤波核可以应用于构成图像立方的 I、P 和/或 B 帧的混合帧。

用于 CDF 的滤波核可应用于一个或多个图像,或一个或多个图像的一个或多个子集,从而减小或消除噪声同时保持图像内容大体上不变,所述图像内容例如是与图像边缘相关联的纹理和/或空间频率。如图 19 所示,它示出了未过滤的图像和使用本发明的实施例所产生的过滤的数字图像。

为了说明和描述的目的,在上面提供了对本发明特定实施例的描述。它们不是为了穷尽或者将本发明限制到公开的精确形式。相反,应该理解,考虑到上面的教导可许多修改和变化都是可能的。为了最佳地说明本发明的原理和其实际应用选择和描述了多个实施例,由此使本领域技术人员能够最佳地利用本发明,并且具有各种修改的各个实施例适于所设想的特定用途。

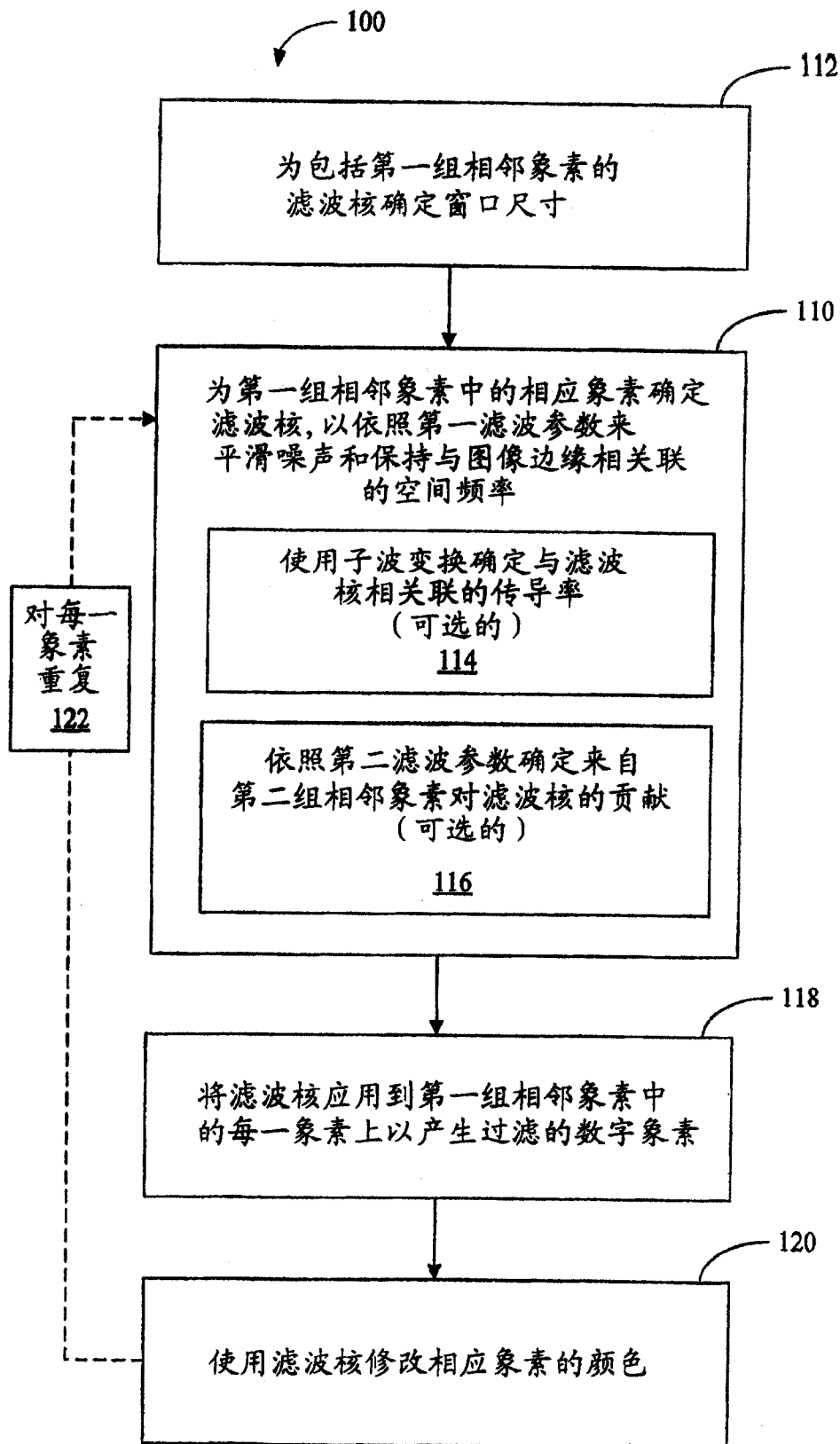


图 1

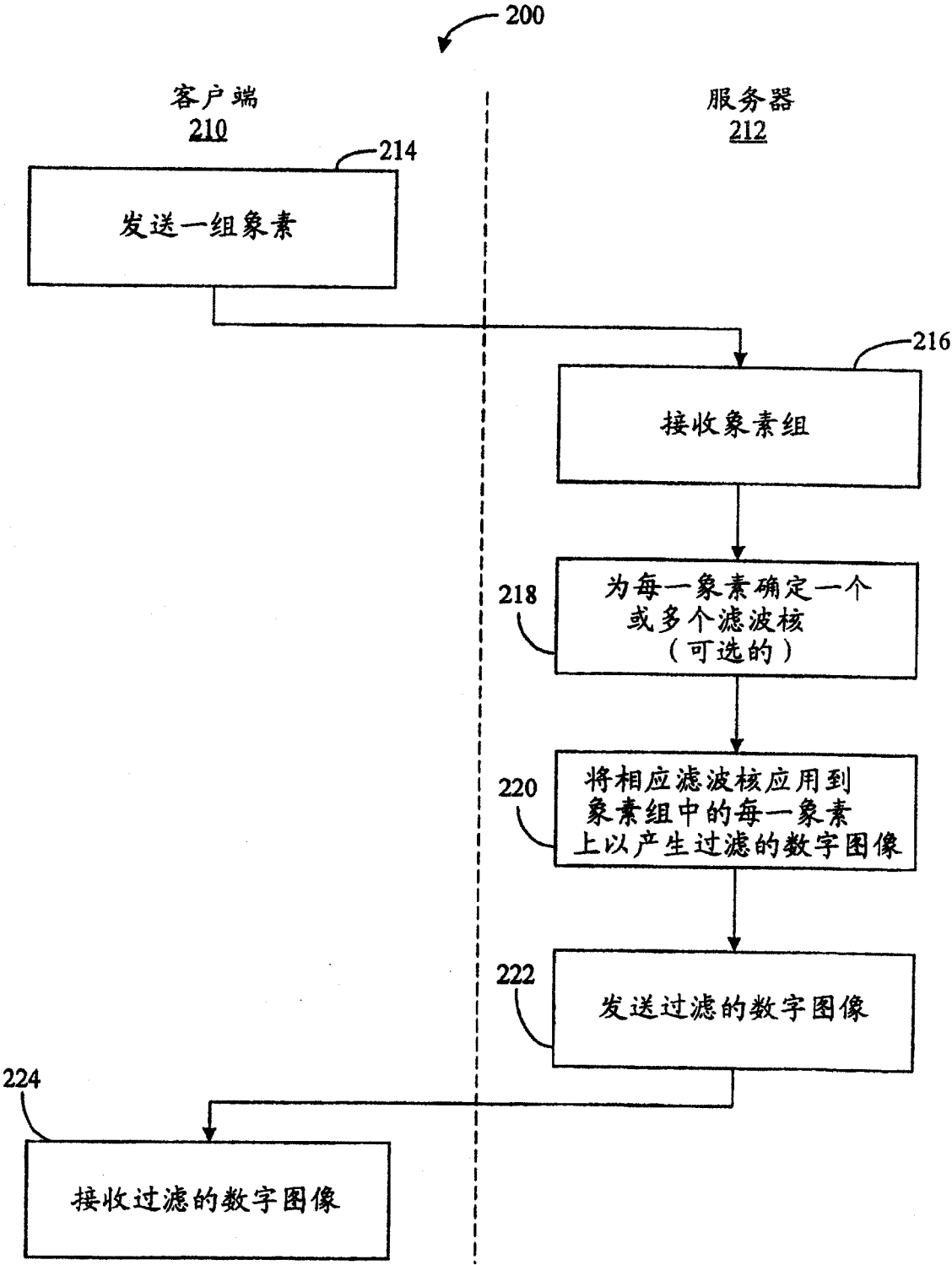


图 2

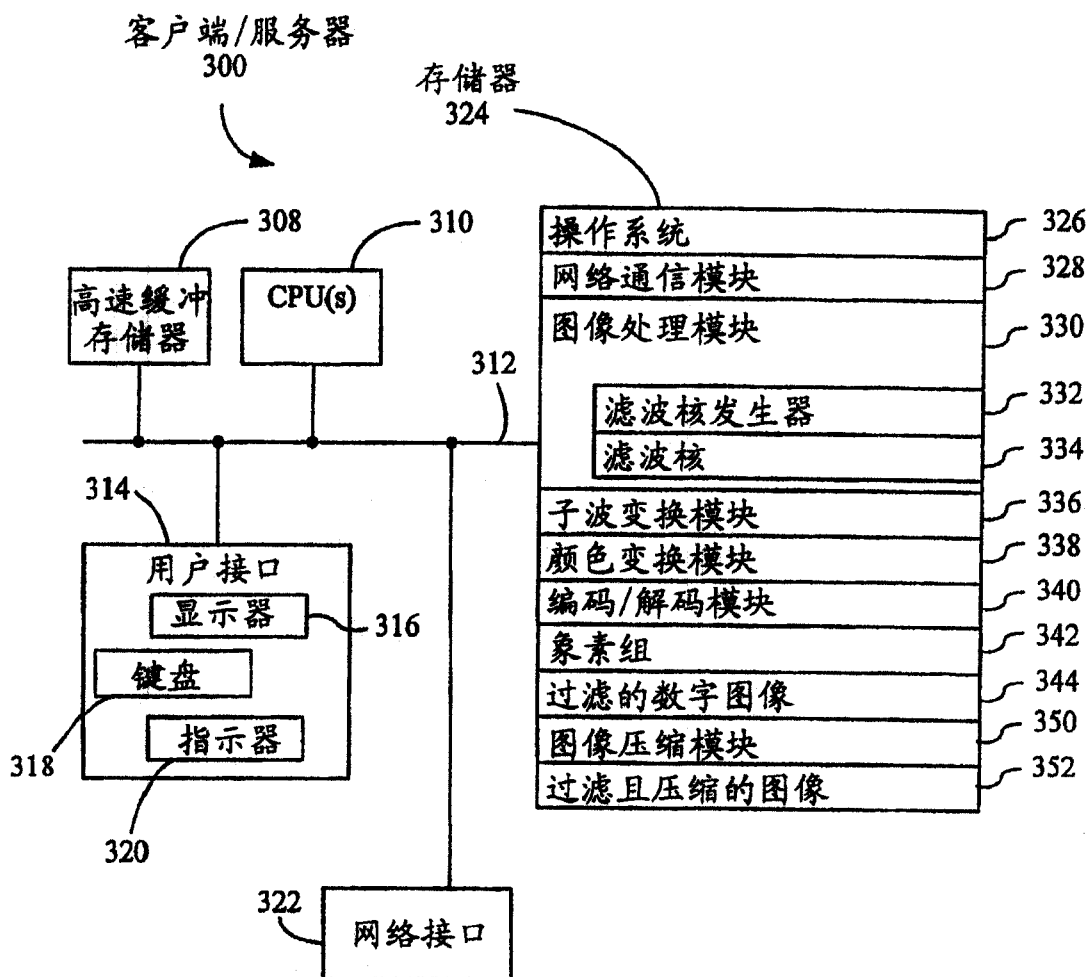


图 3

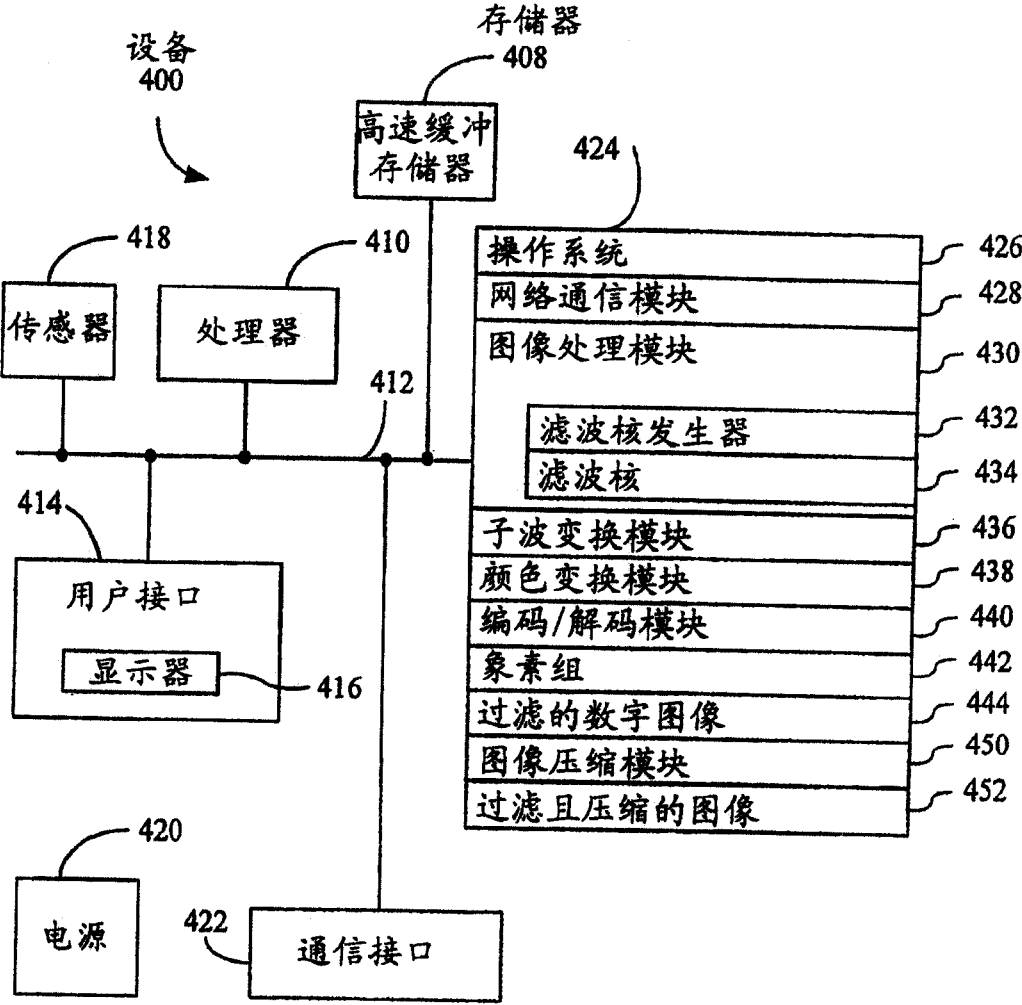


图 4

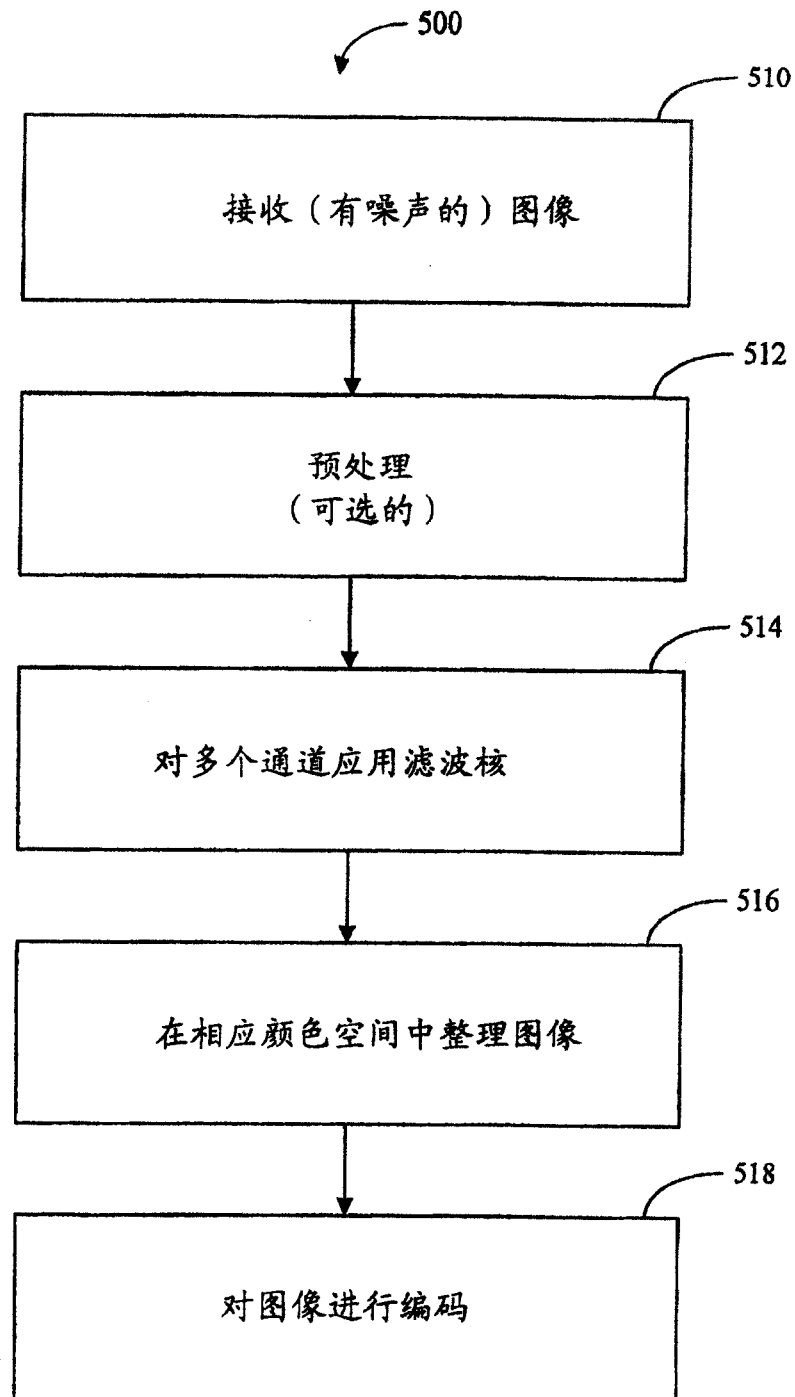


图 5

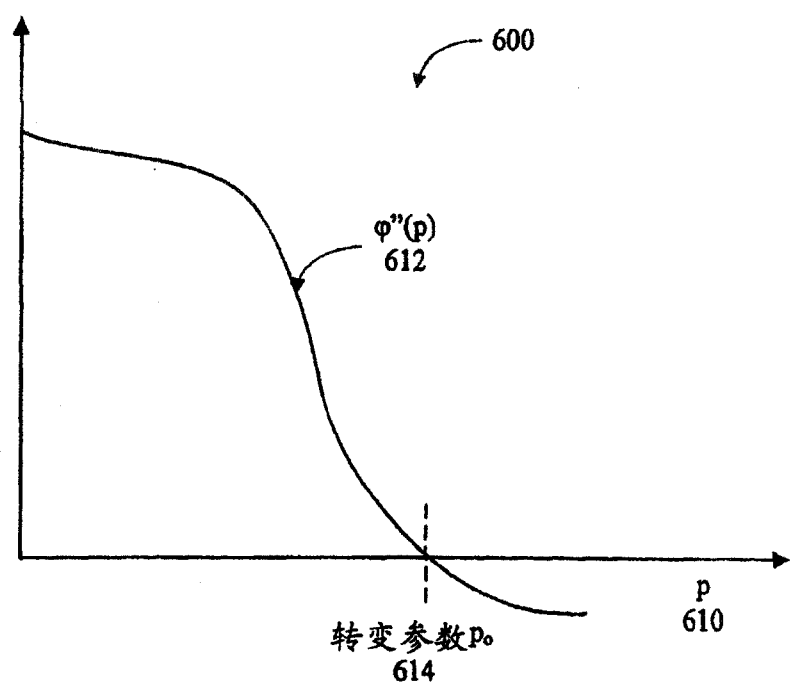


图 6
(现有技术)

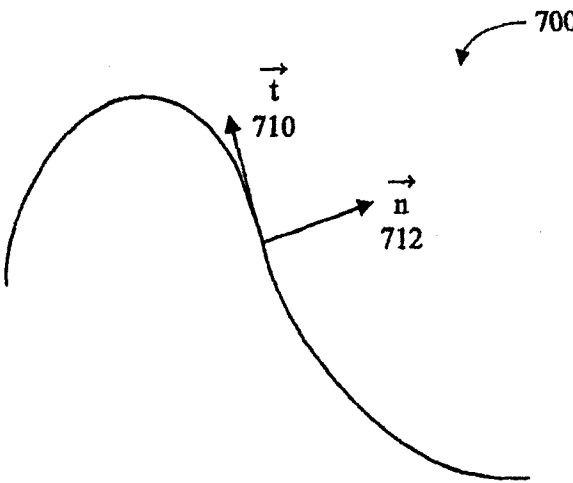


图 7
(现有技术)

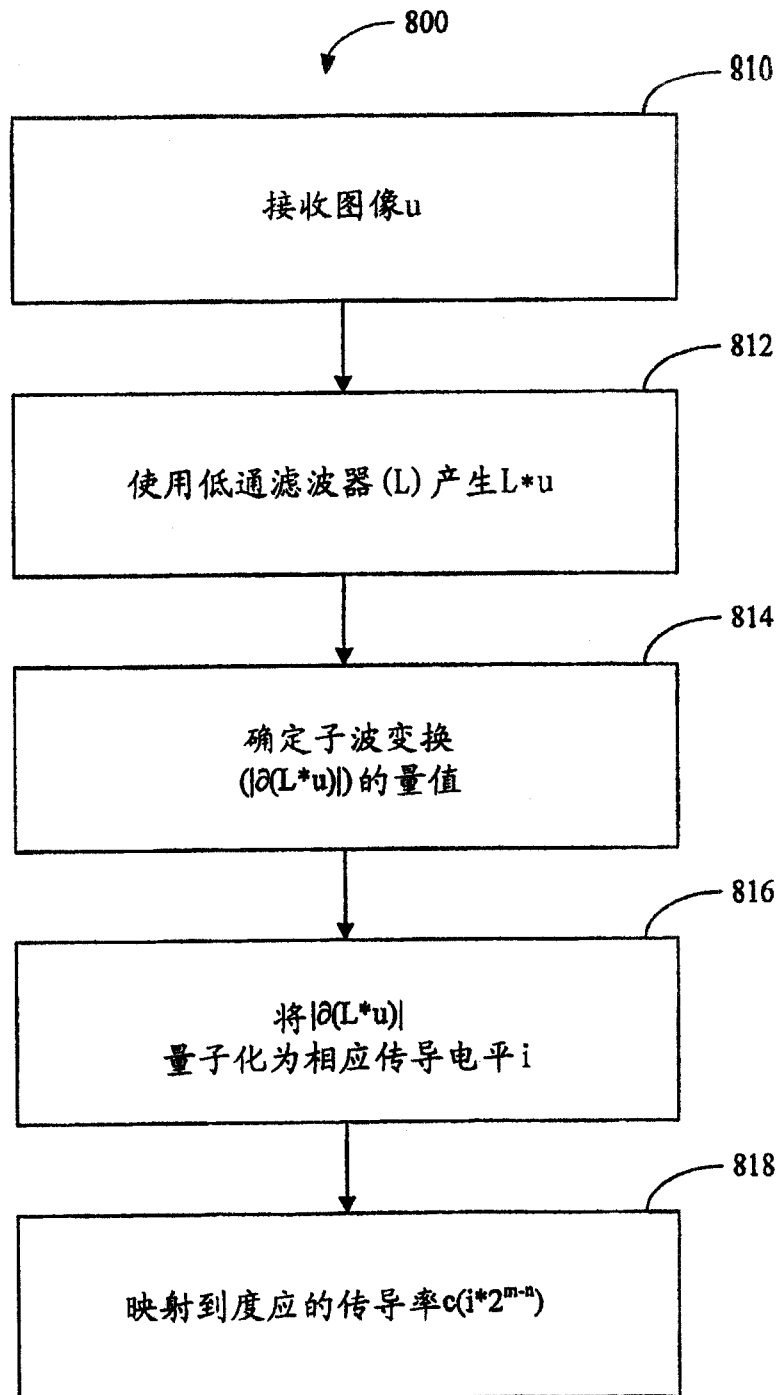


图 8

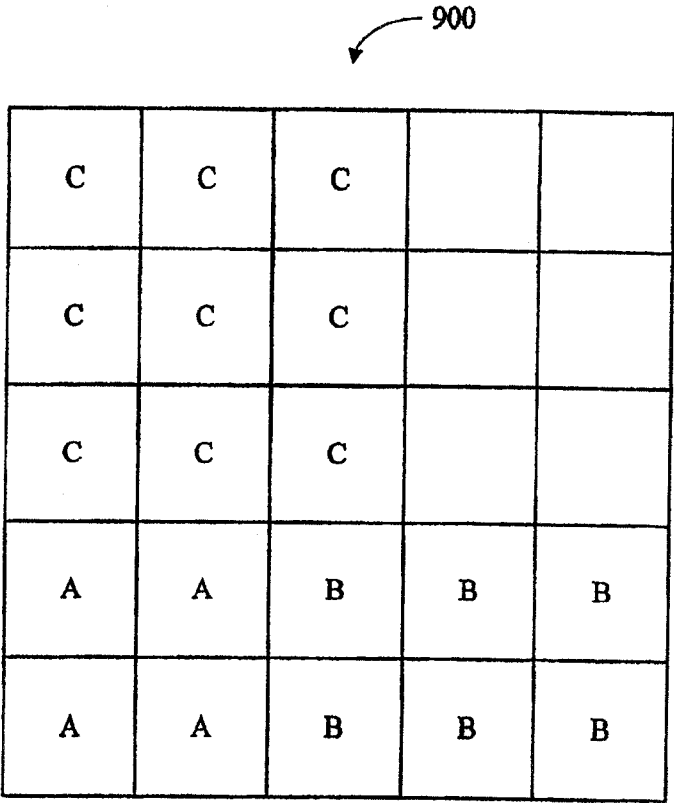


图 9

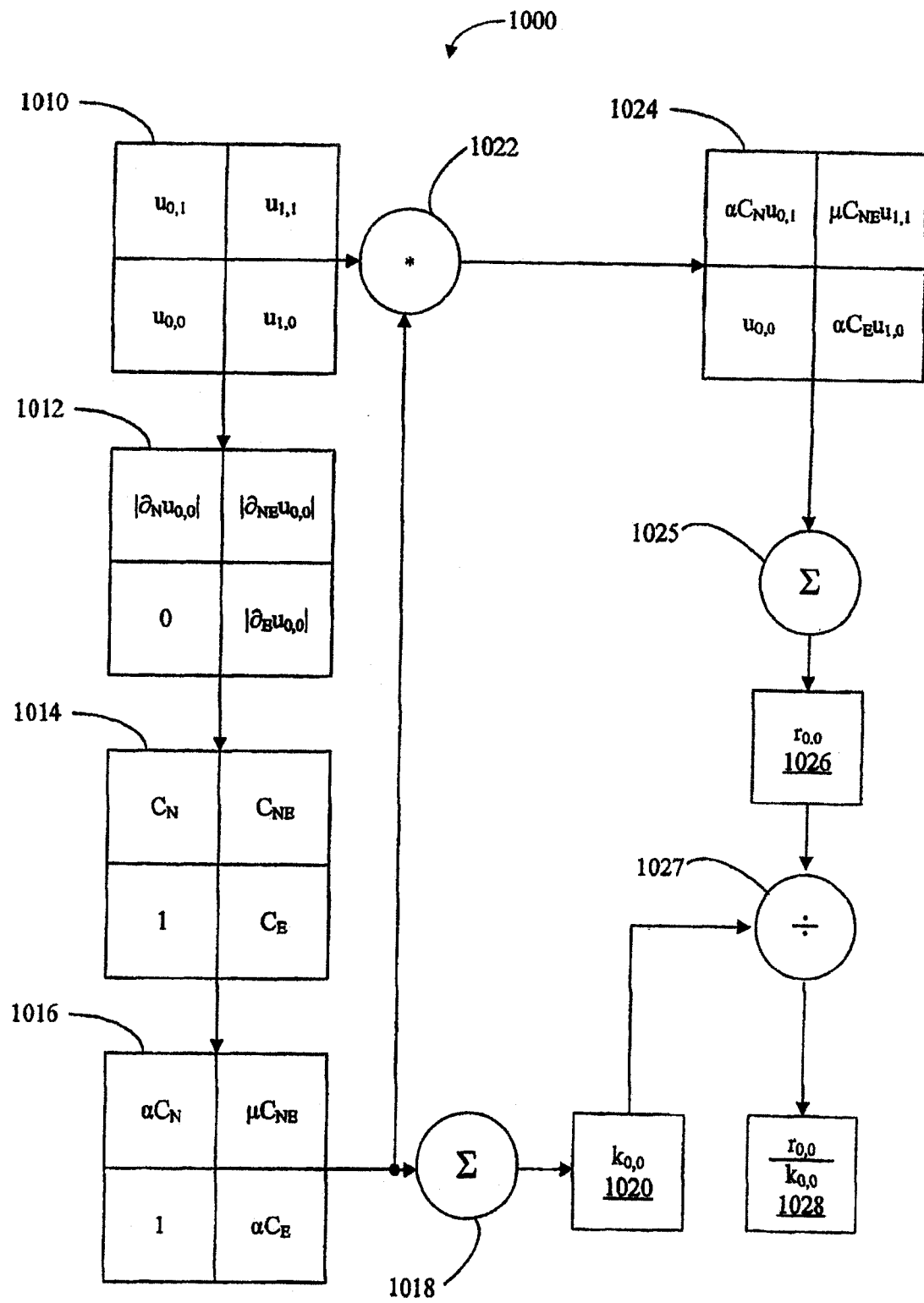


图 10

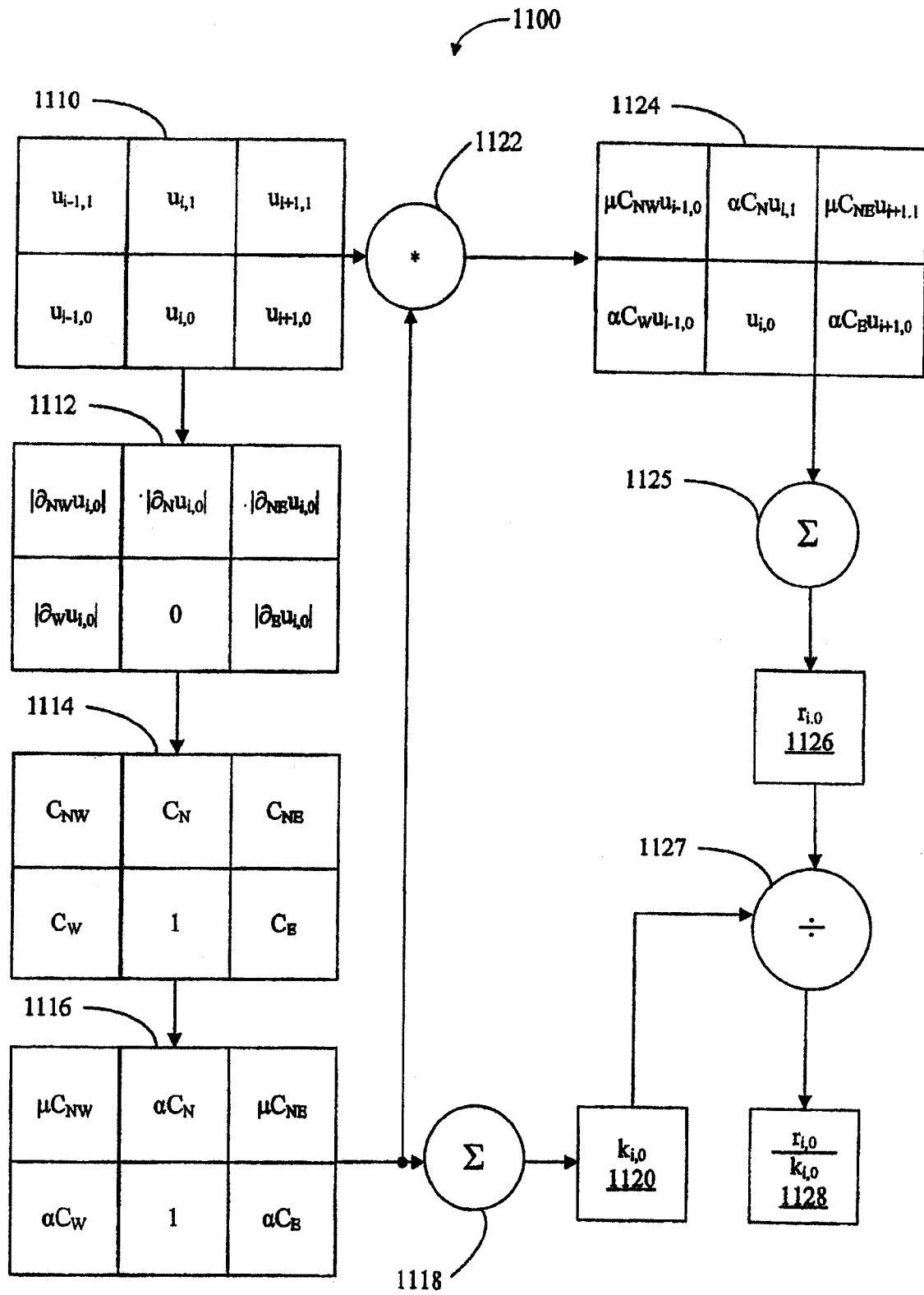


图 11

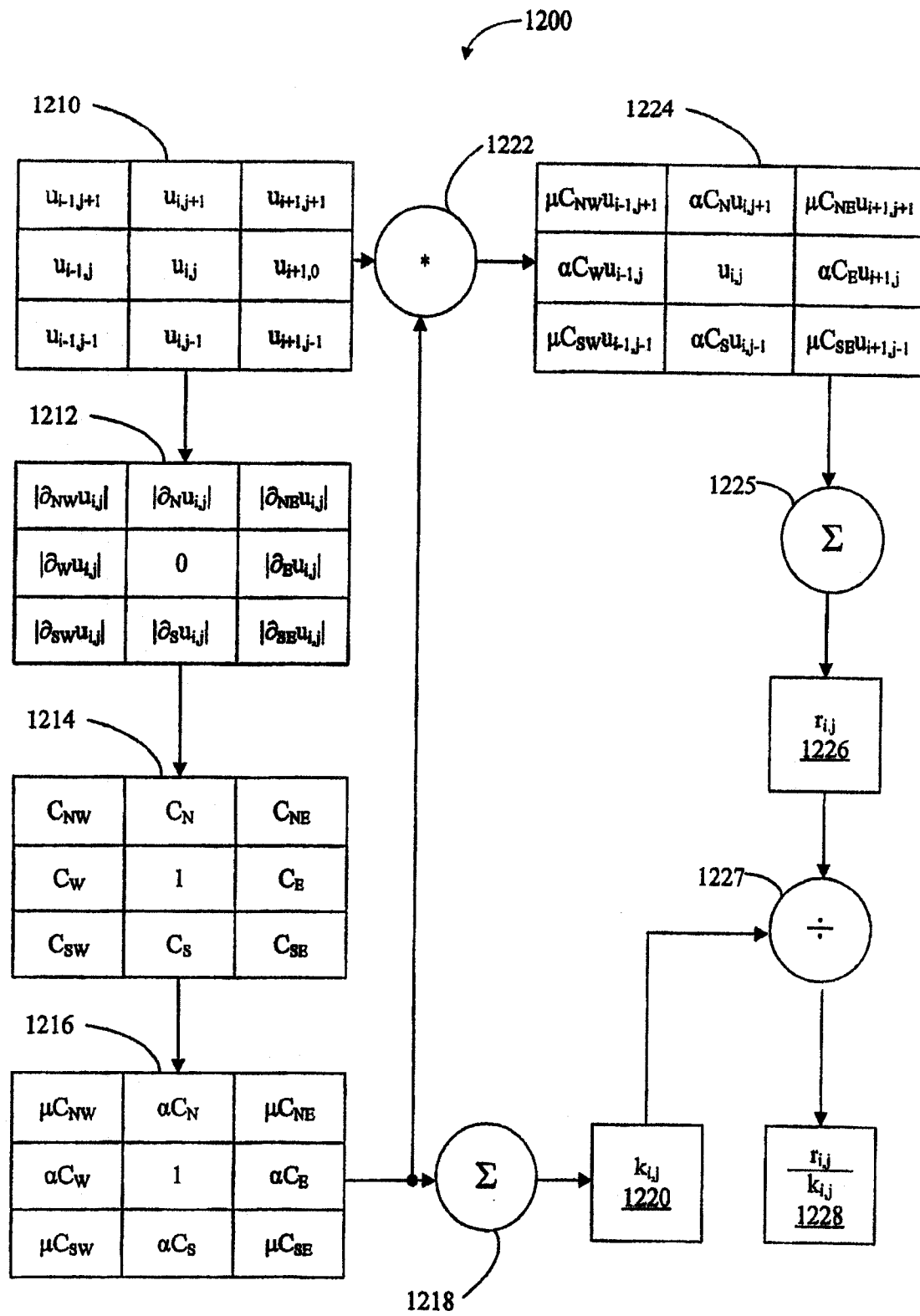


图 12

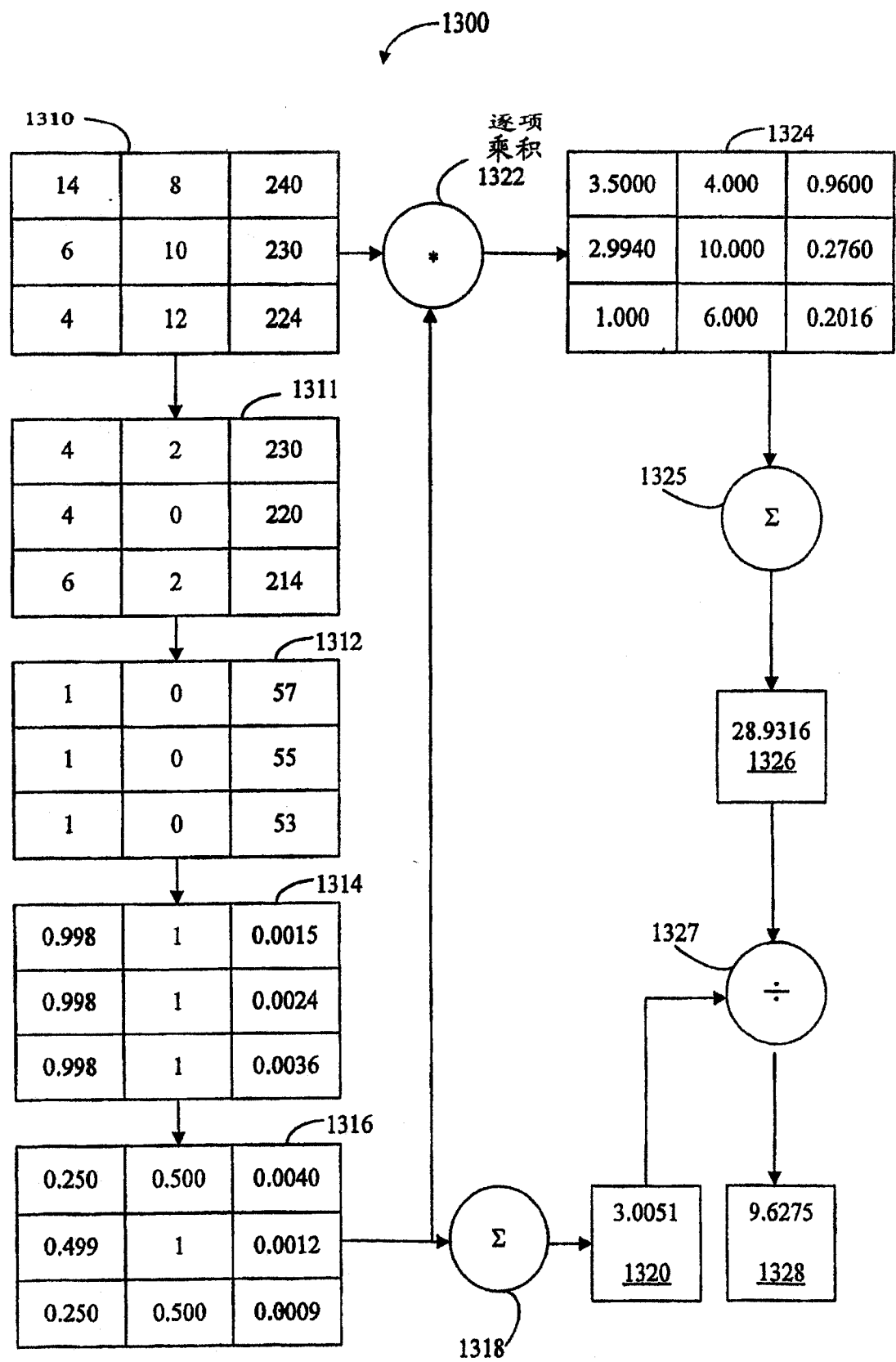


图 13

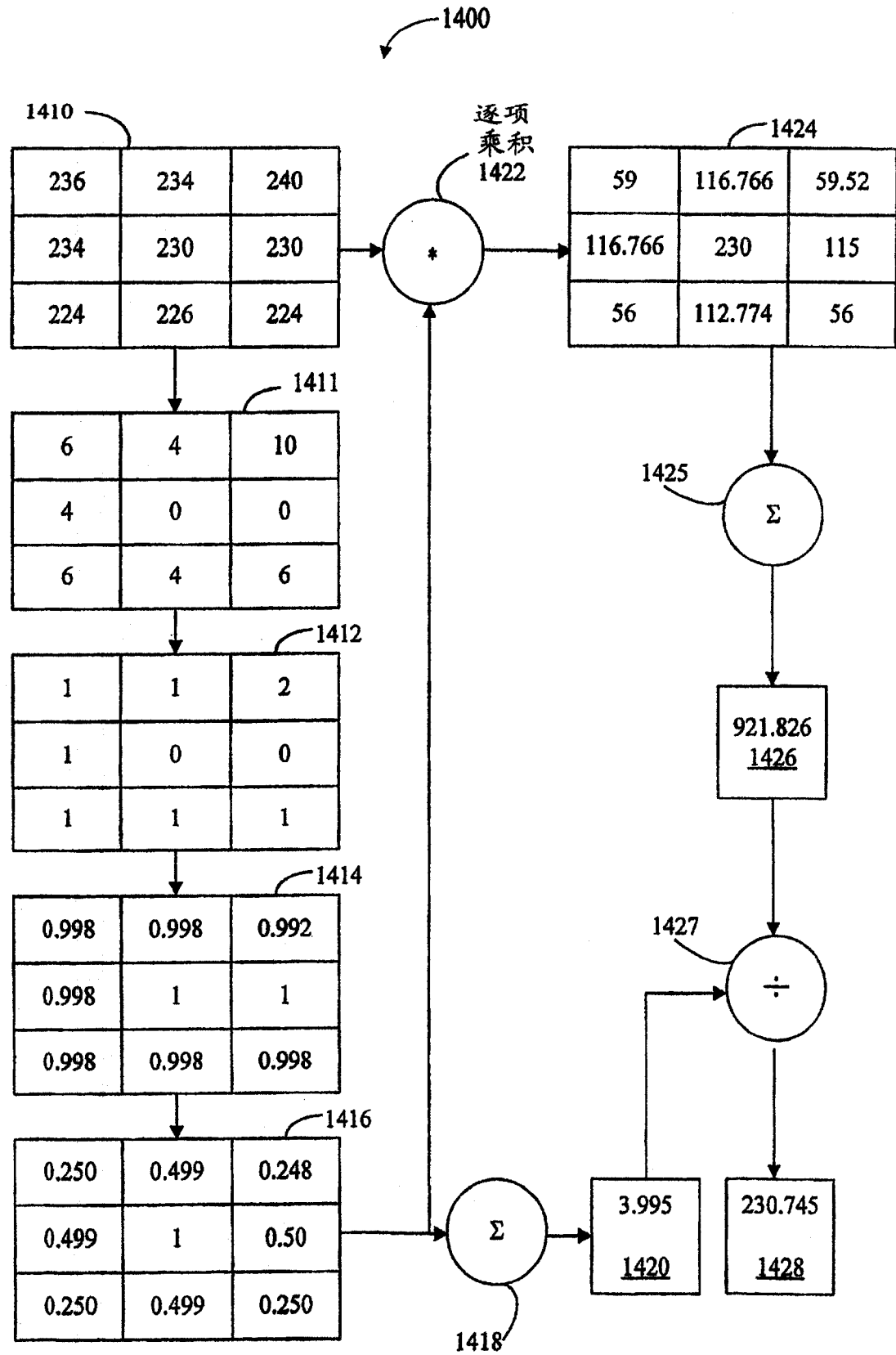


图 14

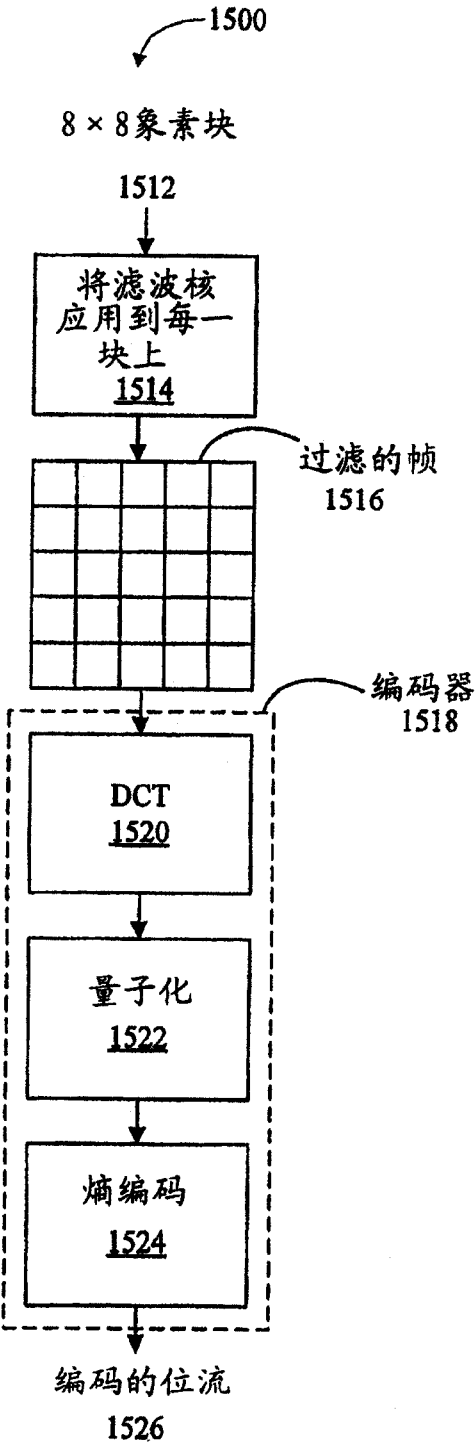


图 15

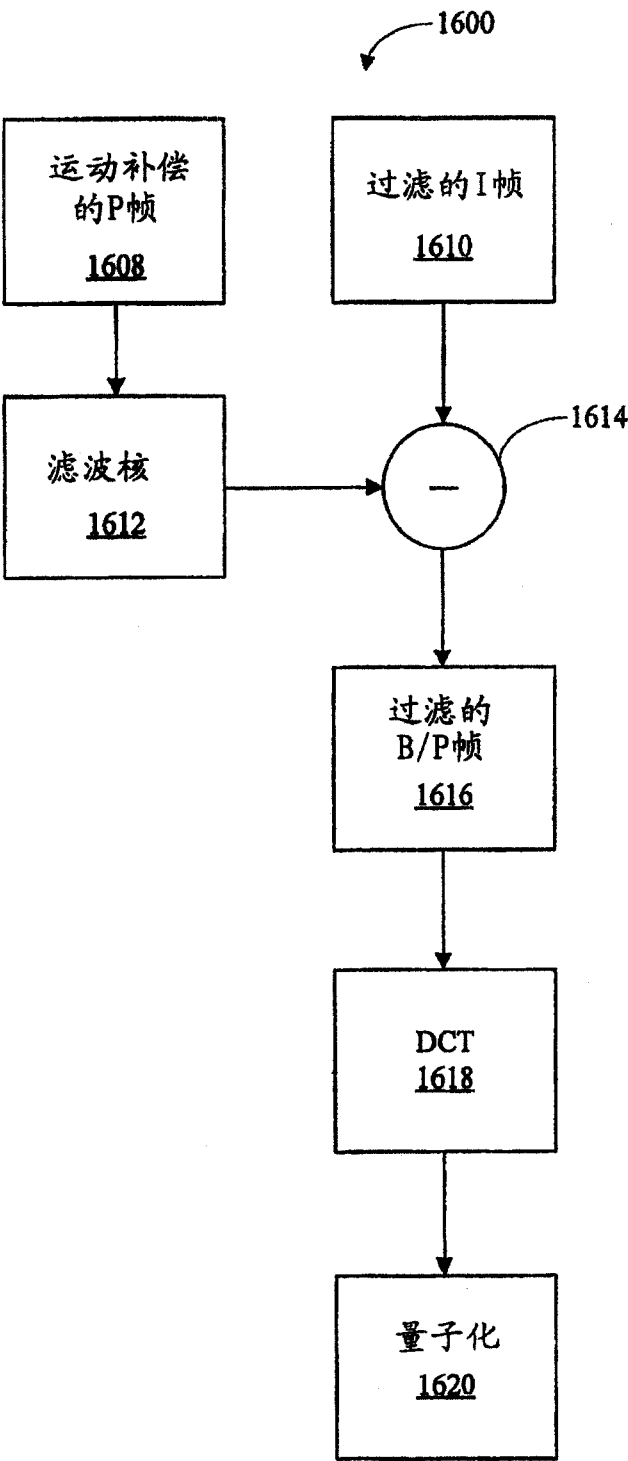


图 16

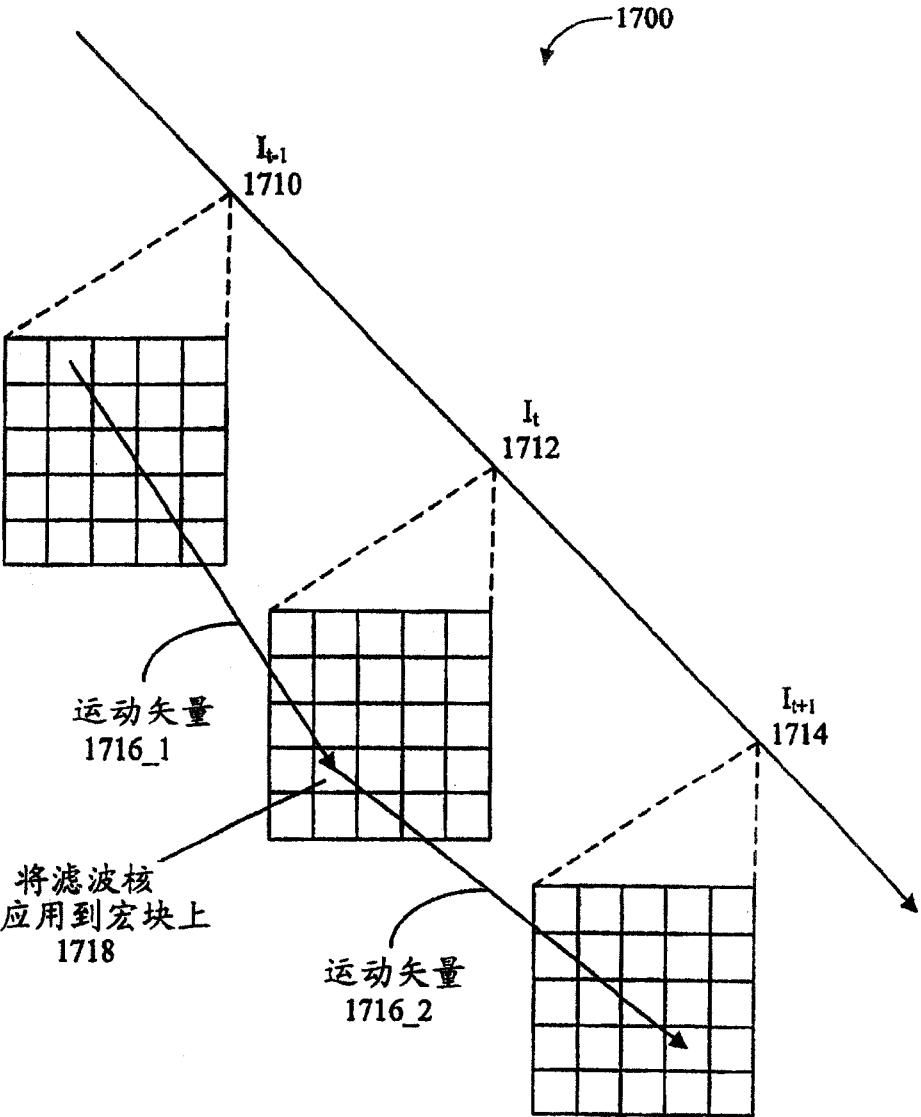


图 17

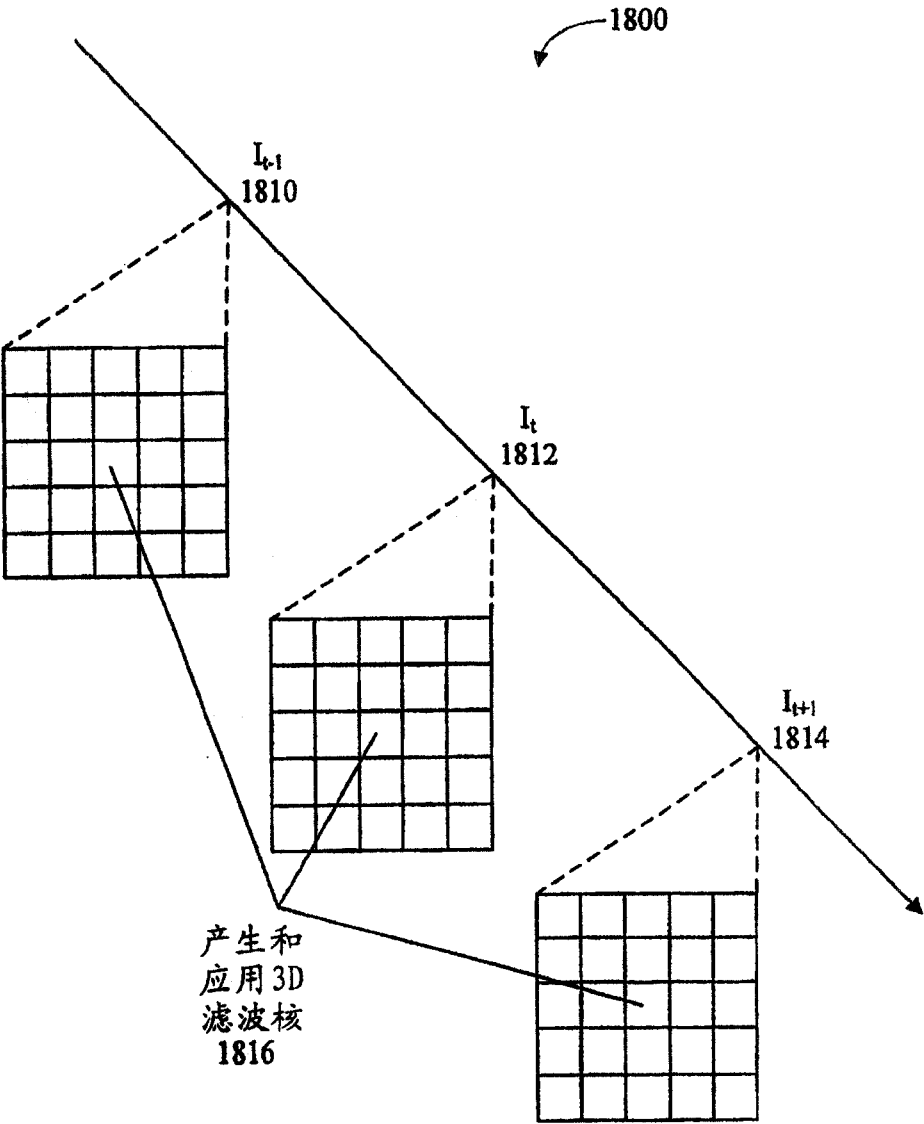
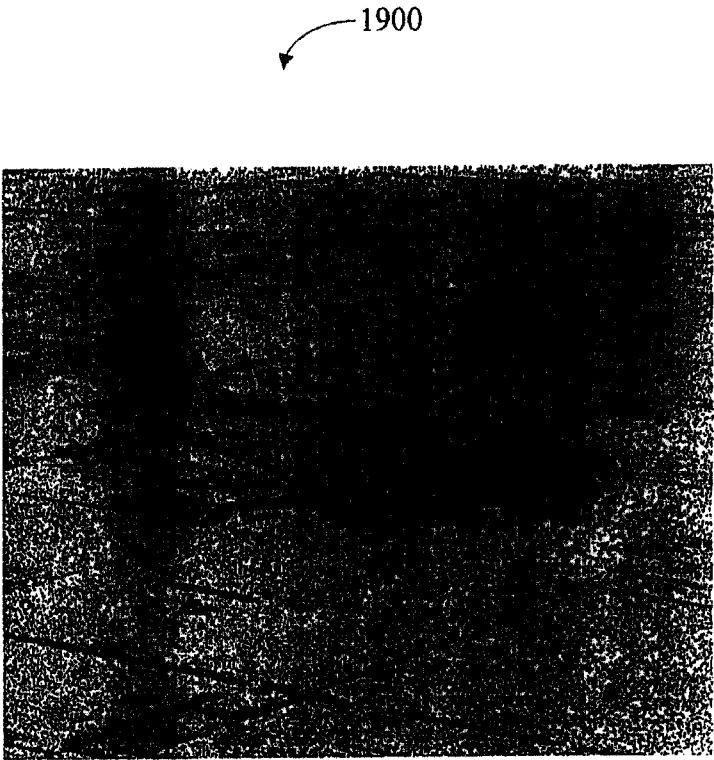


图 18



输入图像-未过滤的
1902



应用CDF之后的结果
1904

图 19