



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00807390.2

[43] 公开日 2003 年 10 月 22 日

[11] 公开号 CN 1451143A

[22] 申请日 2000.12.27 [21] 申请号 00807390.2

[30] 优先权

[32] 2000. 1. 12 [33] US [31] 60/175,777

[32] 2000. 3. 7 [33] US [31] 60/187,422

[32] 2000. 8. 16 [33] US [31] 09/639,154

[86] 国际申请 PCT/EP00/13228 2000.12.27

[87] 国际公布 WO01/52188 英 2001.7.19

[85] 进入国家阶段日期 2001.11.9

[71] 申请人 皇家飞利浦电子有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72] 发明人 何海燕 J·扬森

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 程天正 张志醒

权利要求书 4 页 说明书 8 页 附图 10 页

[54] 发明名称 用于边缘检测的方法和设备

[57] 摘要

一种边缘检测技术组合了一个图像信号的低通二阶导数、该图像信号的低通一阶导数和边缘频率的估计。该边缘频率估计最好基于图像信号的三阶低通导数和一阶低通导数之比。该图像信号最好是亮度信号。

- 1、用于边缘检测的设备包括：
 - 用于接收图像信号的装置（1001）；
 - 用于第一检测该图像信号的二阶导数是否与零交叉的装置
5 （1002）；
 - 用于响应检测的第一装置产生的肯定结果而第二检测该图像信号的一阶导数是否大于一个第一门限的装置（1004）；
 - 用于响应检测的第二装置产生的肯定结果而第三检测一个边缘频率的指示是否满足预定准则的装置（1005）；以及
 - 10 ●用于提供一个边缘标识以响应该检测的第三装置产生的肯定结果的装置（1006）。
- 2、如权利要求1的设备，其中：
 - 该图像信号包括亮度信号；
 - 该边缘频率的指示是该亮度信号的三阶导数与该亮度信号的一阶
15 导数之比；以及
 - 该预定的准则是该比率是否大于一个门限。
- 3、如权利要求2的设备，其中作为从低通二阶导数计算的结果，该三阶导数是低通的。
- 4、如权利要求1的设备，其中该图像信号从一个图像的垂直扫描产生，以及该边缘标识相应于水平边缘。
20
- 5、如权利要求1的设备，其中该图像信号从一个图像的水平扫描产生，以及该边缘标识相应于垂直边缘。
- 6、如权利要求1的设备，其中该图像信号包括亮度信号以及该二阶导数是低通二阶导数。
- 25 7、如权利要求1的设备，其中该图像信号是亮度信号以及该一阶导数是低通一阶导数。
- 8、如权利要求1的设备，包括一个可由数据或者信号处理设备读取的媒体，包含了适合实现所列运算的代码。
- 9、如权利要求1的设备，包括至少一个适合执行所列运算的专用硬
30 件单元。
- 10、如权利要求9的设备，它还包括一个适合执行各个检测操作的、独立相应的专用硬件单元。

11、如权利要求 1 的设备，其中该图像是一个视频图像以及该图像信号是一个亮度信号。

12、如权利要求 1 的设备，其中该二阶导数是一个二阶导数算子和一个相应于低通滤波器的算子间的卷积产生的低通二阶导数。

5 13、如权利要求 12 的设备，其中该相应于低通滤波器的算子的形式是 $[1,2,\dots,m,\dots,2,1]$ ，这里 m 是与在边缘检测前适用于该视频信号的放大因子相关的整型变量。

14、如权利要求 13 的设备，其中该相应于低通二阶导数的算子的形式是 $[-1,0,0,0,2,0,0,-1]$ 。

10 15、如权利要求 1 的设备，其中该一阶导数是一个导数算子和一个相应于低通滤波器的算子间的卷积产生的低通导数。

16、如权利要求 1 的设备，还包括一个边缘链接单元。

17、图像处理设备包括：

- 用于接收图像相关信号的输入；
- 15 ● 用于实现一个组合的低通滤波和导数运算而不分离该两种运算的装置（1003，1004）；以及
- 用于提供该组合的低通滤波和导数运算结果的输出。

18、如权利要求 17 的设备，其中该导数是一个二阶导数。

19、如权利要求 18 的设备，其中该导数是一个一阶导数。

20 20、一种用于边缘检测的方法，包括在一个数据或者信号处理设备中执行以下操作：

- 接收一个图像信号；
- 第一检测该图像信号的二阶导数是否与零交叉；
- 响应第一检测产生的肯定结果而第二检测该图像信号的一阶导数
- 25 是否大于一个第一门限；
- 响应第二检测产生的肯定结果而第三检测一个边缘频率的指示是否满足预定准则；以及
- 提供一个边缘标识以响应该第三检测产生的肯定结果。

21、如权利要求 20 的方法，其中：

- 该图像信号包括亮度信号；
- 该边缘频率的指示是该亮度信号的三阶导数与该亮度信号的一阶导数之比；以及

●该预定的准则是该比率大于一个门限。

22、如权利要求 21 的方法，其中作为从低通二阶导数计算的结果，该三阶导数是低通的。

23、如权利要求 20 的方法，其中该图像信号从一个图像的垂直扫描产生，以及该边缘标识相应于水平边缘。

24、如权利要求 20 的方法，其中该图像信号从一个图像的水平扫描产生，以及该边缘标识相应于垂直边缘。

25、如权利要求 20 的方法，其中该图像信号包括亮度信号以及该二阶导数是低通二阶导数。

26、如权利要求 20 的方法，其中该图像信号是亮度信号以及该一阶导数是低通一阶导数。

27、如权利要求 20 的方法，包括实现该运算以响应一个可由数据或者信号处理设备读取并包含代码的媒体。

28、如权利要求 20 的方法，包括在至少一个专用硬件单元中执行该运算。

29、如权利要求 20 的方法，其中该至少一个专用硬件单元包括一个适合执行各个检测操作的、独立相应的专用硬件单元。

30、如权利要求 20 的方法，其中该图像是一个视频图像以及该图像信号是一个亮度信号。

31、如权利要求 20 的方法，其中该二阶导数是一个二阶导数算子和一个相应于低通滤波器的算子间的卷积产生的低通二阶导数。

32、如权利要求 31 的方法，其中该相应于低通滤波器的算子的形式是 $[1,2,\dots,m,\dots,2,1]$ ，这里 m 是与在边缘检测前适用于该视频信号的放大因子相关的整型变量。

33、如权利要求 32 的方法，其中该相应于低通二阶导数的算子的形式是 $[-1,0,0,0,2,0,0,-1]$ 。

34、如权利要求 20 的方法，其中该一阶导数是一个导数算子和一个相应于低通滤波器的算子间的卷积产生的低通导数。

35、如权利要求 20 的方法，还包括一个边缘链接单元。

36、一种图像处理方法，包括在一个数据处理设备中执行以下操作：

●接收一个图像相关的信号；

●实现一个组合的低通滤波和导数运算，而不分离这两种运算；

●提供该组合的低通滤波和导数运算的结果。

37、如权利要求 36 的方法，其中该导数是一个二阶导数。

38、如权利要求 36 的方法，其中该导数是一个一阶导数。

39、边缘检测设备包括：

5 ●适合于接收一个图像信号的输入（1001）；

●适合于进行以下操作的处理设备（1003，1004，1005）：

●检测该图像信号中的至少一个边缘；以及

●区分具有较高频率含量的边缘和具有较低频率含量的边缘；以及

被安排成仅响应于具有较高频率含量的边缘提供一个边缘检测指示

10 的输出（1006）。

用于边缘检测的方法和设备

5 一个题为用于改进会话 ROM SD 到 HDTV 的方法和设备、并与本申请具有相同附图和详细描述的相关申请由本申请的同一发明人与本申请同时提交。由本申请的同一发明人提出且题为“System and method for improving the sharpness of a video image(用于提高视频图像锐度的系统和方法)”(ID 701025)的第二专利申请被与本申请同时提交,并被在此引入以供参考。

10 本申请要求于 2000 年 1 月 12 日提交的序列号为 60/175,777 的临时专利申请和 2000 年 3 月 7 日提交的序列号为 60/187,422 的临时专利申请的利益,它们被在此引入以供参考。

本发明涉及图像处理领域,特别涉及图像内的边缘检测。

15 Anil K. Jain 在他的 Fundamentals of Digital Image Processing(数字图像处理基础)一书(Prentice Hall 1989,第 347-357 页)中,提出了首先使用拉普拉斯(Laplace)算子然后使用梯度算子的边缘检测方法。

本发明的目的是改进边缘检测。

20 这个目的是通过将边缘频率的估计用于区分软边缘和硬边缘而达到的。最好边缘检测的估计是基于三阶导数与一阶导数之比大于一个门限。最好本发明的边缘检测技术用于视频信号的处理中。

其他的目的和优点将在下面表现出来。

现在将参考附图利用非限制性的示例来描述本发明。

图 1 示出了用于将一个 SD 信号转换成一个 HDTV 信号的转换单元的概观。

25 图 2 示出了上抽样单元的更多细节。

图 3 到 8 示出了线性内插器的操作。

图 9 示出了用于实现锐度增强的设备。

图 10 是一个与边缘检测相关的流程图。

图 11 示出了标准拉普拉斯算子和低通拉普拉斯算子的效果间的差别。

30 图 12 示出了门限 2 取不同值时的效果。

图 13A-F 和图 14A-F 示出了用于边缘链接的规则。

图 1 示出了按照本发明的一个设备的概况。一个 SD 信号被馈送到一

个隔行到逐行转换器 110。有关隔行到逐行转换器的更多信息可以在 G. De Haan 和 E.B.Bellers 的“De-Interlacing-an overview(去隔行-概述)”, Proc. IEEE. 卷 86, 第 1839-1857 页 (1998 年 9 月) 中得到。在框 111 处, 上抽样通过线性内插实现。上抽样可以在锐度增强之前对水平和垂直方向分别进行。然后在框 112 对该信号进行锐度增强。之后一个逐行到隔行转换器 (对于每帧仅每隔一行取一行) 在 113 将该信号转换成 HDTV 信号。图 1 中的框可以用硬连线电路或者通用处理器中的代码来实现。

图 2 显示了框 111 结构的更多细节。该框包括一个常规的零插入单元 201 和常规的防混叠滤波器 202。该防混叠滤波器最好具有以下系数:

$$\left[\frac{-3}{32}, 0, \frac{19}{32}, 1, \frac{19}{32}, 0, \frac{-3}{32} \right]$$

图 3 到 8 示出了该线性内插器的操作。图 3a 示出了具有不同幅值的 0 到 n 个抽样的、输入到线性内插器的信号的时域形式。图 3b 示出了同一输入信号的频域形式。该频域形式在值 $f_{s_0}/2$ 处降为零, 这里 f_{s_0} 是初始抽样频率。

图 4a 示出了零插入器 201 在时域中的动作。图 4b 示出了零插入器在频域作用的结果。该零插入器使得频域中出现第二峰值, 在 $f_{sn}/2$ 处有一个截止, 这里 f_{sn} 是内插导致的新抽样频率, 换句话说, 在此示例中放大因子为 2。

图 5 示出了频域中理想防混叠滤波器的性能。

图 6a 示出了时域中理想的防混叠滤波器作用于该零插入器输出的结果。图 6b 示出了与图 6a 相同的信号, 只是在频域上的结果。

图 7 示出了实际防混叠滤波器在频域中的轮廓线。

图 8a 示出了时域中实际防混叠滤波器作用于该零插入器输出的结果。图 8b 示出了该实际防混叠滤波器在频域中的结果。该曲线在 801 处示出了混叠。

图 9 示出了框 112 的更多细节。输入 901 来自信噪比计算器。优选类型的噪声检测在 2000 年 3 月 6 日提交的序列号为 09/519,548、题为“Subjective Noise Measurement on Active Video Signal(对活动视频信号的主观噪声测量)”的美国专利申请中公开, 该申请被在此引入以供参考。

输入 908 来自框 111。边缘检测器 902 和建峰单元 904 都要使用输入 908 和 901。该边缘检测器 902 在下面将作进一步的描述。该建峰单元 904 可以是任何常规的建峰单元，例如在欧洲专利文件 EP0257129 中示出的一个建峰单元。该建峰单元在检测到边缘时会被关闭。该子像素级亮度瞬态改进（“LTI”）903 从边缘检测器 902 和框 111 获取输入。该单元 903 在由本申请的同一发明人与本申请同时提交的、题为“System and method for improving the sharpness of a video image(用于提高视频图像锐度的系统和方法)”（ID 701025）的专利申请中被描述，该申请被在此引入以供参考。输出 906 和 907 都是以 YUV4:2:2 的格式。这些输出然后在加法器 905 处相加。来自加法器 905 的输出信号在加法器 909 处与来自框 111 的 908 处的输入信号相加。加法器 909 的输出进到图 1 的框 113。线路 908 上的信号是以 YUV4:2:2 的格式。

在概念上，图 9 的设备组合了线性技术（即建峰技术）和非线性技术（即 LTI）以改进内插结果。

建峰单元 904 通过将高通的信号加到原始信号上来增强高频成分。建峰作为一种图像处理技术有其优势也有其弱点。在建峰后，瞬态幅度被增加；但是建峰处理很容易做得过分，而导致有关大的瞬态的大边框。而且，建峰对噪声图像缺乏鲁棒性。避免非自然信号所要求的“智能”控制可能尝试使用更复杂的建峰算法；但是，建峰的线性特性意味着即便使用这些更复杂的建峰算法也不能引入新频率。

LTI 将像素移向边缘中心。边缘检测决定哪些像素需要使用 LTI 来移动。所以在边缘周围生成比正常频率更高的频率，并且该瞬态的斜率增加。当边缘检测可靠时，LTI 在存在噪声的情况下是鲁棒的。最好边缘检测与输入视频信号的信噪比有关。当边缘检测依赖于信噪比时，则输出控制也将依赖于信噪比。同样，最好当瞬态的幅值小时，LTI 的主观效果不象建峰的主观效果强。

在该优选实施方案中，建峰和 LTI 被组合起来以使得建峰作用于小的瞬态，而 LTI 作用于大的瞬态。换句话说，对于小的瞬态，幅值增加，而对于大的瞬态，斜率增加。这种技术对 LTI 不适用的软边缘和 LTI 适用的较尖锐边缘进行了区分。

通常，会产生令人烦恼的非自然信号的溢出/下溢问题只在有大的瞬态处才出现，即在边缘处出现。因此在建峰单元中不必防止下溢/溢出问

题，这节省了大量的电路或计算时间。

尽管本公开内容的大部分与一维图像处理有关，但却作用于两个路径，一个水平和一个垂直；但是也可以使用 2D 技术，例如对图像的纹理部分可以使用 2D 建峰。

5 图 10 说明了用在框 902 中的优选边缘检测过程的流程；但是，可以由本领域的那些普通技术人员来设计用于提供输入到单元 903 的其它边缘检测器。图 10 的过程可以在任何类型的处理器中执行，例如，或者通过硬连线的硬件或者通过编程的多用途处理器。例如框 1003-1005 每个都可以由一个独立的专用电路实现。

10 在一个两维图像中，按照图 10 的边缘检测最好在各维独立地执行。换句话说，图 10 的流程被执行两次。这有两个理由是优选的。第一，人眼通常对水平和垂直方向的线条和边缘更敏感。第二，对角线型边缘表现为水平和垂直方向的边缘。

可以按任一顺序（先垂直或者先水平）扫描各维。在垂直扫描期间，15 仅检测到水平边缘并将其标记为边缘。在水平扫描期间，仅检测到垂直边缘并将其标记为边缘。

框 1001 示出了对输入新像素的请求。在框 1002，执行测试以查看该最后的像素是否已经通过。如果已通过，则开始一个边缘链接过程 1007。如果未通过，则在 1003，测试是否低通二阶导数相交到零。如果框 1002 20 的测试结果是肯定的，则在像素级已检测到边缘并且控制被交给 1004。如果是否定的，则控制被交给框 1001。

在 1004，确定低通一阶导数是否大于一个被称为“门限 1”的值。在导数的最大值为 255 的情况下，门限 1 的优选值为 20，但是本领域的那些普通技术人员可以使用其它值以便得到不同的期望效果。如果框 25 1004 的测试未被满足，则这是一个由噪声导致的假边缘，故控制被返回给 1001。如果测试被满足，则假边缘的可能性已被排除且控制被交给框 1005。

在 1005，测试低通三阶导数是否大于被称为“门限 2”的值与低通一阶导数的乘积。门限 2 的优选值是 0.45，但是本领域的那些普通技术人员又可能使用其它值以便得到不同的期望效果。通常，改变门限 1 和 30 门限 2 的值将决定图片是更锐化还是更模糊。如果这两个门限低，则通常会使得图像更锐化。期望哪一种效果可能是个人喜好的问题。如果框

1005 的测试没有被满足，则推定的边缘太软以致不能应用 LTI，并且控制被返回给框 1001。如果被满足，则在 1006 将该像素标记为边缘。

确定低通二阶导数是否过零。

现在将描述要在框 1003 中执行的运算。可以根据以下等式来定义

5 低通二阶导数：

$$SD(n) \triangleq L(n-m) - 2 \times L(n) + L(n+m) \quad (1)$$

这里

● n 是代表当前像素的整型变量

10 ● m 是与放大因子有关的整型变量。对于放大因子 2，m 的典型值将为 4，但是本领域的那些普通技术人员可以根据在实验中工作最佳的情况而导出其它值。

● L(n) 是像素 n 的亮度值

● SD(n) 是像素 n 的低通二阶导数

● = 意指“定义为”

15 拉普拉斯算子被如下定义：

$$S(n) \triangleq L(n-1) - 2 \times L(n) + L(n+1) \quad (2)$$

这里函数 S(n) 代表像素 n 的拉普拉斯变换。有关拉普拉斯算子的更多内容可以在序列号为 5,852,470 的美国专利，特别是在图 14A-E 及伴随的文本中得到，该专利被在此引入以供参考。

20 为了排除如图 8b 所示的混叠的影响，低通二阶导数是优选的。按照优选实施方案的低通二阶导数使用向量 [-1,0,0,0,2,0,0,0,-1]，这与更常用于二阶导数，即拉普拉斯算子的向量 [-1,2,-1] 形成对比。这个优选向量可以通过低通滤波器 [1,2,3,4,3,2,1] 与传统拉普拉斯算子的卷积导出。

25 图 11 示出了当与防混叠滤波器组合时传统和低通拉普拉斯算子在频域的频谱。该低通拉普拉斯算子产生了更低频率的曲线。

所以该低通二阶导数也可以按照下列等式计算：

$$SD(n) = [1, 2, \dots, m, \dots, 2, 1] \otimes S(n) \quad (3)$$

这里 [1, 2, ..., m, ..., 2, 1] 是低通滤波器的脉冲响应。这样等式 (3) 等价于等式 (1)。

30 与单独使用拉普拉斯算子相比，使用低通二阶导数的优点在于在面对噪声和混叠时提高了鲁棒性。零交叉最好被确定，这里

$$SD(n) \bullet SD(n-1) < 0 \quad (4)$$

这个零交叉计算识别了候选的边缘像素。

确定低通一阶导数是否大于门限 1

现在将描述在框 1004 中执行的运算。

该低通一阶导数最好按照下列等式确定：

$$5 \quad FD(n) \triangleq L(n-m) - L(n) \quad (5)$$

这里函数 $FD(n)$ 代表像素 n 的低通一阶导数。

梯度算子可以如下计算：

$$F(n) \triangleq L(n-1) - L(n) \quad (6)$$

然后，类似地用前面低通二阶导数的计算，可以如下计算低通一阶
10 导数：

$$FD(n) = [1, 1, 1, \dots, 1] \otimes F(n) \quad (7)$$

这里 $[1, 1, 1, \dots, 1]$ 是 m 比特向量并且是低通滤波器的脉冲响应。这样
该低通一阶导数和该低通二阶导数都基于标准算子的低通形式。在各种
情况中选定向量以简化卷积后产生的系数。本领域的那些普通技术人员
15 可能设计出其它向量以得到对于这些导数的低通效果。

如果

$$|FD(n)| > \text{门限 1} \quad (8)$$

则该候选像素被保留。这种计算有助于区分噪声和实际边缘。

确定低通三阶导数是否大于门限 2 乘以低通一阶导数

20 现在将描述框 1005 内的运算。这个框的作用是此处所谓的“边缘
频率计算”。这个计算确定了边缘的斜率。在视频信号中，一些边缘有
陡斜率，而一些边缘有较缓的斜率。通常，人们不希望锐化有较缓斜率
的边缘。这些边缘可能已经被故意地软化，例如使一张脸看起来更柔和
或者更光滑。这些软边缘一般有较低的频率成分。因此，具有较高频率
25 成分的边缘才应被锐化。

由于很难定位一个边缘的开始或结束，所以单单从一阶导数计算边
缘的斜率是不准确的。因此建议使用低通三阶导数和低通一阶导数之比
作为边缘频率的指示。

该低通三阶导数可以按照下列等式根据低通二阶导数计算：

$$30 \quad TD(n) \triangleq SD(n) - SD(n-1) \quad (9)$$

这里函数 $TD(n)$ 是像素 n 的低通三阶导数。由于使用了低通二阶导
数，所以 TD 将是低通三阶导数。

可以执行下面的计算：

$$\frac{TD(n)}{FD(n)} > \text{门限2} \quad (10)$$

如果条件成立，则边缘频率高，这样该边缘成为锐度增强的候选者。由于从实现的角度看除法运算相当昂贵，所以方程式 10 的计算最好被表示为该低通三阶导数是否大于该低通一阶导数与门限 2 乘积的测试。这个乘积计算完全等价于执行该等式(10)的比率计算。因此，这里当出现该三阶与一阶导数之比大于门限的情况时，这将包括三阶导数与门限和一阶导数的乘积相比的可能性。当在这里使用术语导数而不用术语“低通”时，其意图是包括低通形式作为可能的实施方案。

让我们称低通三阶和低通一阶导数之比为 \mapsto 。图 12A-C 示出了对于不同 \mapsto 的值边缘检测的效果。图 12A 是 $\mapsto=0.3$ 的情形；图 12B 是 $\mapsto=0.5$ 的情形；图 12C 是 $\mapsto=1.0$ 的情形。这些图中每个图都显示了频率增加的模式。图下的小箭头 1201, 1202, 1203 示出了在哪里开始检测到边缘。在各种情况下，在箭头右边和箭头右方的所有边缘被检测为边缘，而在其左方的值被认为是软边缘。LTI 不适用于软边缘，仅适用于箭头右边和右方的边缘。

边缘链接

图 13A-F 和 14A-F 说明分别用于垂直和水平扫描的优选边缘链接规则。本领域的那些普通技术人员也可能设计其它类型的边缘链接技术与上述的边缘检测一起使用。

图中所说明的规则脱离了被指示为边缘的孤立的像素可能不是真正边缘的假设。边缘通常要扩展到几个像素。

该规则被说明为考虑当前像素的邻域。在各种情况中该当前像素都被用‘x’标记。为简单起见，该邻域已被选为 3×3，但是本领域的那些普通技术人员可能使用其他尺寸的邻域，以得到更好的结果。本领域的那些普通技术人员可能设计非方形的邻域。

用于不同尺寸和形状的邻域的边缘链接规则将不同于这里针对 3×3 情形所说明的。

在图中，最深阴影的方块代表已经被明确确定为边缘的像素。较深阴影的方块代表根据所讨论的规则要被忽略的像素。图 13A-D 和 14A-D 的规则与重构其中有中断的线条有关，而图 13E-F 和 14E-F 的规则与

消除假边缘有关。

图 13A 和 B 说明了用于垂直边缘检测扫描的规则 1。图 13A 示出了左上和右上方块已知为边缘的情形。在这种情形中，按照图 13B，边缘链接器应将整个最上一行像素标记为边缘，而当前像素不作为边缘。

5 图 13C 和 D 说明了用于垂直边缘检测扫描的规则 2。图 13C 示出了与图 13A 相反的情形。现在左下和右下像素已被识别为边缘。在这种情形中，按照图 13D，边缘链接模块应将整个最下一行像素标记为边缘，而当前像素不作为边缘。

10 图 13E 和 F 说明了用于垂直边缘检测扫描的规则 3。图 13E 说明了其中当前像素周围的所有像素都已知不是边缘的情形。在这种情形中，边缘链接器将当前像素标记为不是边缘。

图 14A 和 B 说明了用于水平边缘检测扫描的规则 1。这是图 13A-D 的规则 1 的 90 度旋转。在图 14A 中，左上和左下的像素被标记为边缘。图 14B 示出作为边缘链接的结果，整个左列像素被标记为边缘，而当前
15 像素被标记为不是边缘。

图 14C 和 D 说明了用于水平边缘检测扫描的规则 2。在图 14C 中，右上和右下的像素被标记为边缘。图 14D 示出了边缘链接器产生的动作。在图 14D 中，整个右列像素被标记为边缘而中心像素被标记为不是
20 边缘。

图 14E 和 F 示出了用于水平扫描的规则 3。用于水平扫描的规则 3 与用于垂直扫描的规则 3 相同。

通过阅读本公开内容，其他的修改对于本领域的技术人员是显而易见的。这种修改可能涉及到在图像增强技术的设计、制造和使用中已知的其他特征，且其可能被用来取代或者附加到此处已描述的特征。特别
25 地，在示出硬件实施方案处，可能用软件来替代；并且，在示出软件实施方案处，可能用硬件来替代。尽管在本申请中权利要求已经被表述成特征的特定组合，但是应当理解，本申请的公开范围也包括此处或者是明确地，或者是隐含地公开的任何新颖特征或特征的新颖组合，或者是对其的任何推广，不管它是否如本发明所做的那样也缓和了任何或者所
30 有的同样的技术问题。由此申请人通知新的权利要求可以被表述成在本申请或者任何另外的从其衍生出的申请处理过程中的这样的特征。

此处使用的单词“包含”不应被视为排除了另外的单元。此处使用的单数冠词“一个”不应被视为排除了多个单元。

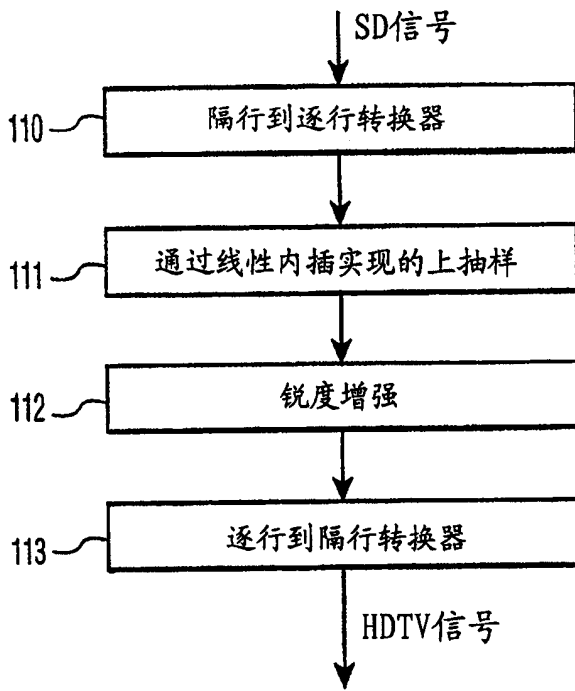


图 1

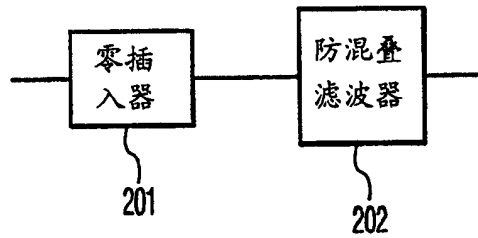


图 2

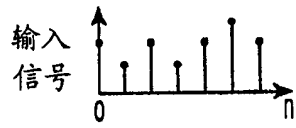


图 3A

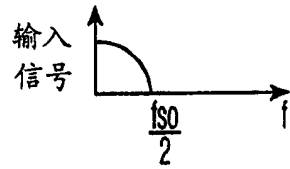


图 3B



图 3C

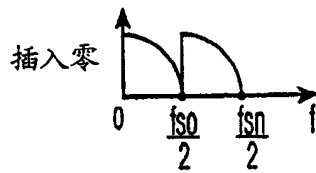


图 3D

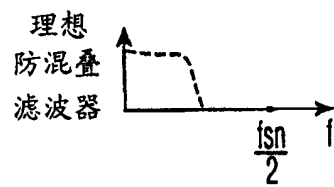


图 3E

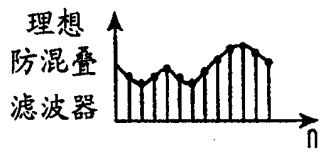


图 6A

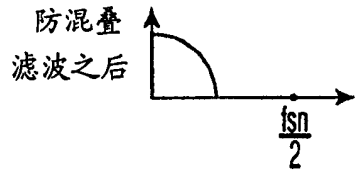


图 6B

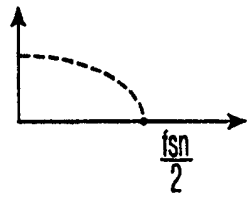


图 7

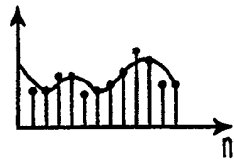


图 8A

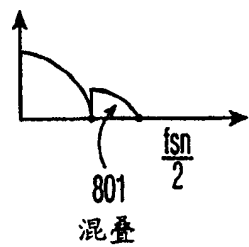


图 8B

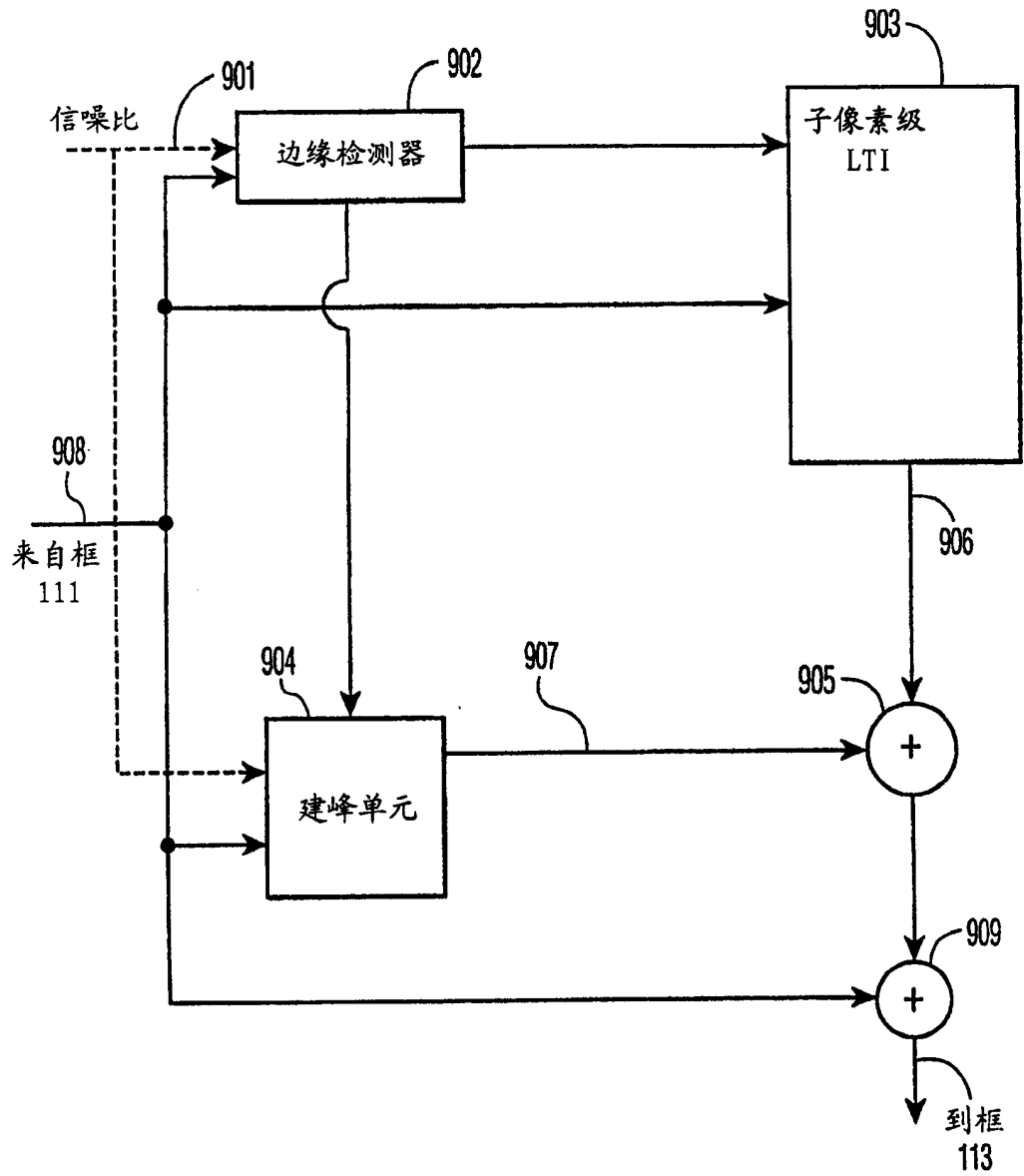


图 9

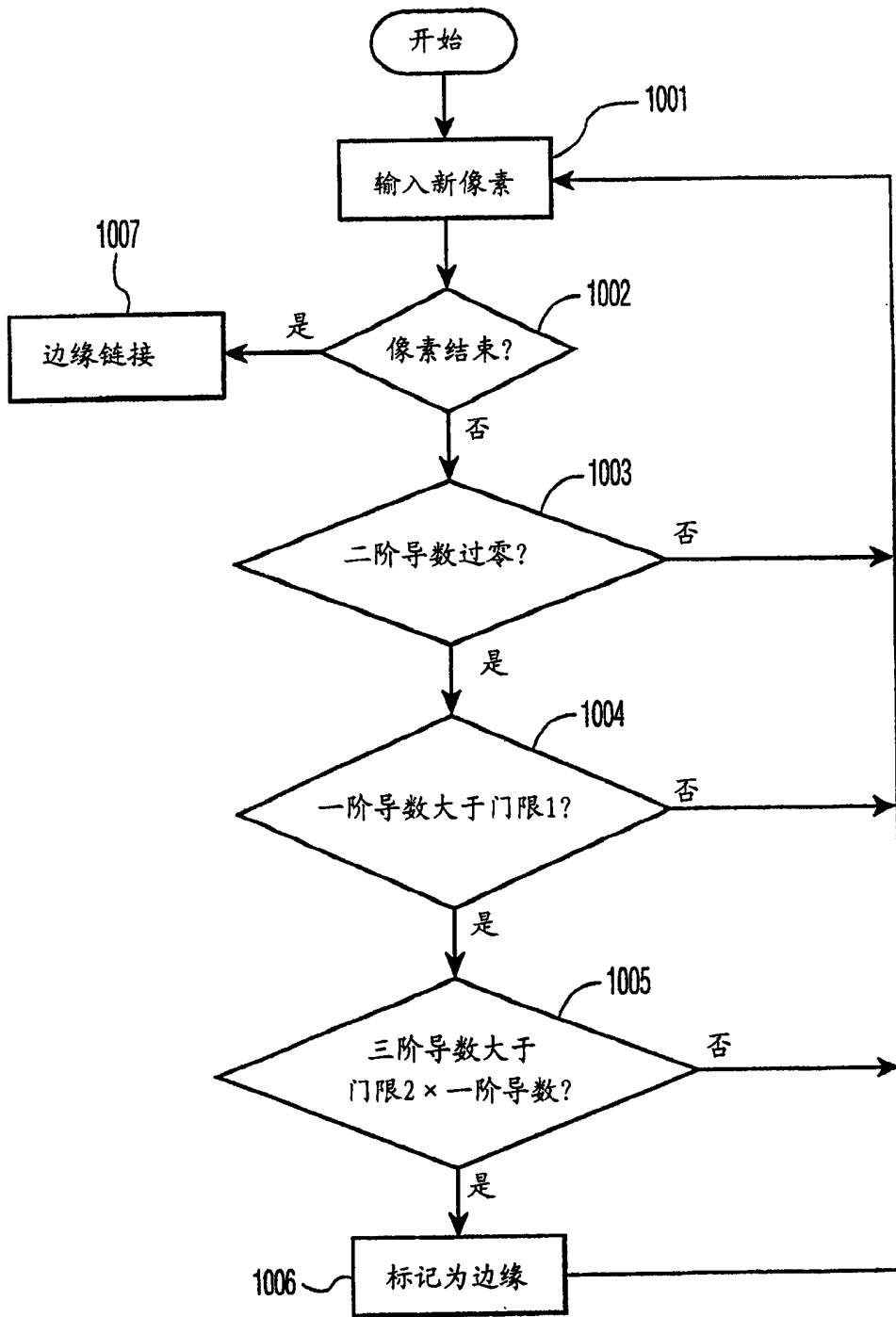


图 10

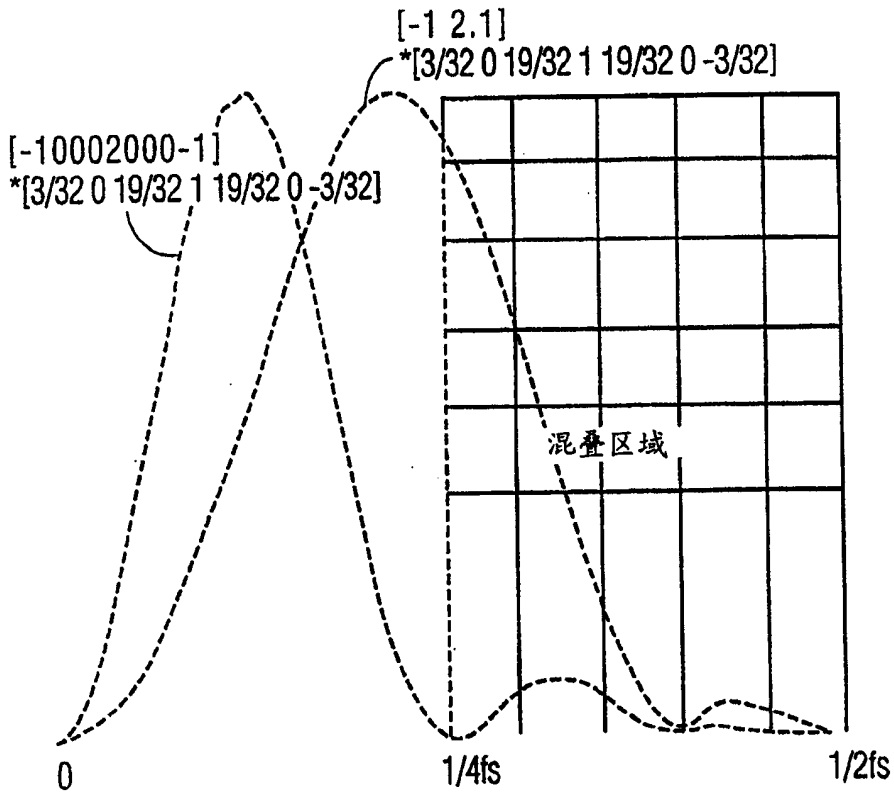
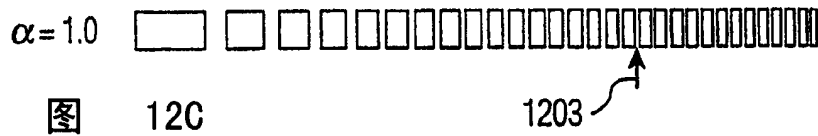
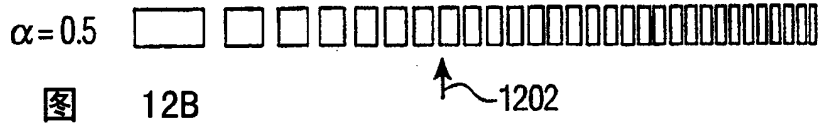
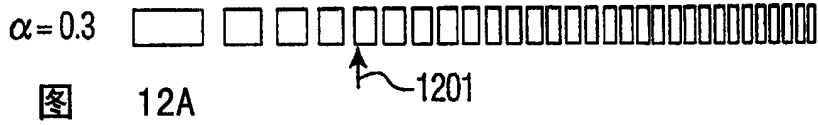


图 11



规则 1

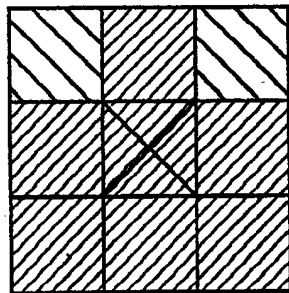


图 13A

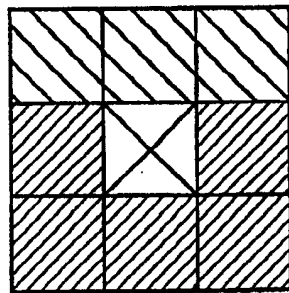


图 13B

规则 2

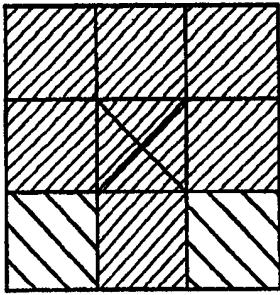


图 13C

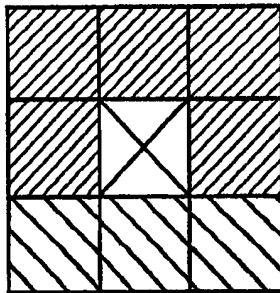


图 13D

规则 3

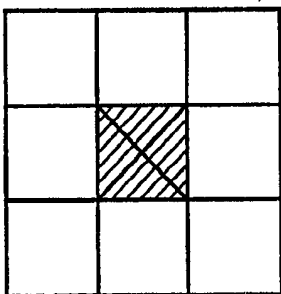


图 13E

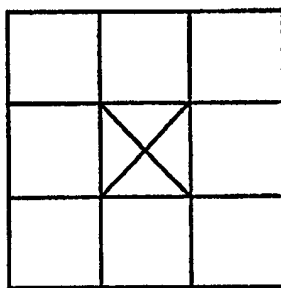


图 13F

规则 1

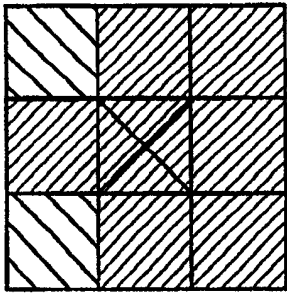


图 14A

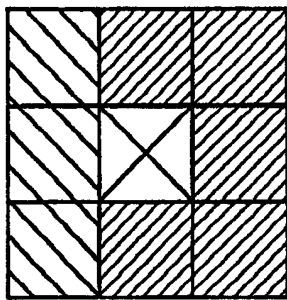


图 14B

规则 2

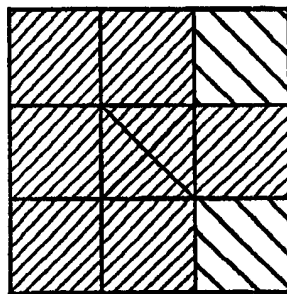


图 14C

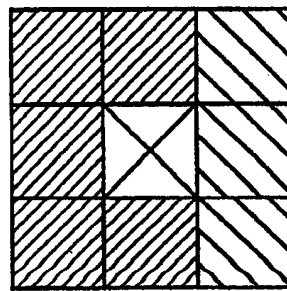


图 14D

规则 3

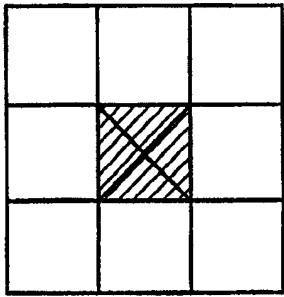


图 14E

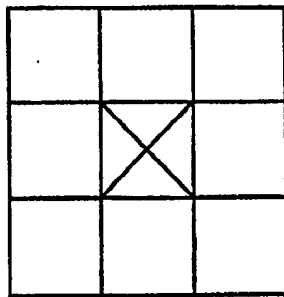


图 14F