



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102473329 B

(45) 授权公告日 2014. 08. 27

(21) 申请号 201080035891. 4

代理人 周靖 郑霞

(22) 申请日 2010. 08. 11

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

G07D 7/20 (2006. 01)

09167609. 8 2009. 08. 11 EP

G07D 7/00 (2006. 01)

G06F 17/14 (2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 02. 13

审查员 余家莹

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2010/053638 2010. 08. 11

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/018764 EN 2011. 02. 17

(73) 专利权人 卡巴 - 诺塔赛斯有限公司

地址 瑞士洛桑市

(72) 发明人 斯蒂芬·格洛克 欧根·吉利赫

约翰尼斯·乔格·谢德

沃尔克·洛韦格

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理

有限公司 11262

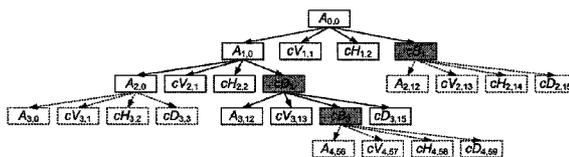
权利要求书3页 说明书12页 附图11页

(54) 发明名称

安全文档尤其是纸币的认证

(57) 摘要

本发明描述了一种用于检查安全文档尤其是纸币的真实性的方法,其中真实的安全文档包括印刷、施加或以其他方式提供在安全文档上的安全特征 (41-49 ;30 ;10 ;51, 52), 其中安全特征包括用于产生安全文档的工艺所固有的典型的视觉特征。所述方法包括数字处理要被认证的候选文档的表面的至少一个感兴趣区域 (R. o. I.) 的样本图像的步骤, 所述感兴趣区域包含安全特征的至少一部分, 数字处理包括通过样本图像的小波变换 (WT) 执行样本图像的分解。这种样本图像的分解基于样本图像的小波包变换 (WPT), 优选地基于所谓的二维平移不变 WPT (2D-SIWPT)。



1. 一种用于检查安全文档的真实性的方法,其中真实的安全文档包括印刷、施加或以其他方式提供在安全文档上的安全特征(41-49 ;30 ;10 ;51,52),所述安全特征包括用于产生安全文档的工艺所固有的典型的视觉特征,所述方法包括步骤:

- 数字处理要被认证的候选文档的表面的至少一个感兴趣区域(R. o. I.)的样本图像的步骤,所述感兴趣区域包含所述安全特征的至少一部分,所述数字处理包括通过对所述样本图像的小波变换(WT)执行对所述样本图像的分解,并从所述样本图像的分解中提取分类特征( $\sigma^2$ , C, ...),以及

- 基于所提取的分类特征( $\sigma^2$ , C, ...)获得所述候选文档的真实性评级,

其特征在于,对所述样本图像的所述分解是基于对所述样本图像的不完全的小波包变换(WPT),所述分解包括将所述样本图像分解成包括至少一个逼近节点( $A_{i,j}$ )和细节节点( $cV_{i,j}$ ,  $cH_{i,j}$ ,  $cD_{i,j}$ )的小波包树,并寻找在所述小波包树内的具有最高信息含量的细节节点。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述小波包变换(WPT)是二维平移不变小波包变换(2D-SIWPT)。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中基于最佳分支算法(BBA)确定所述具有最高信息含量的节点。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中所述最佳分支算法(BBA)涉及:

- 将所述样本图像分解到至少一个第一分解层( $i=1$ ),

- 确定在所述第一分解层的细节节点( $cV_{1,1}$ ,  $cH_{1,2}$ ,  $cD_{1,3}$ )中的具有最高信息含量的细节节点、或最佳节点( $cB_1$ ),以及

- 将所述第一分解层的逼近节点( $A_{1,0}$ )和最佳节点( $cB_1$ )进一步分解到至少一个第二分解层( $i=2$ )。

5. 根据前述权利要求任一项所述的方法,其中所述具有最高信息含量的节点被确定为在给定的分解层( $i$ )的节点中呈现出最大方差( $\sigma^2$ )的节点。

6. 根据权利要求1~4的任一项所述的方法,包括数字处理对应于同一候选文档的若干个感兴趣区域(R. o. I.)的多个样本图像。

7. 根据权利要求1~4的任一项所述的方法,其中所述至少一个感兴趣区域(R. o. I.)被选定为包括高密度图案。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中所述图案是线性或曲线的凹版印刷图案。

9. 根据权利要求7所述的方法,其中所述至少一个感兴趣区域(R. o. I.)被选定为包括提供在所述候选文档上的图形表示的图案。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中所述图形表示为肖像。

11. 根据权利要求1~4的任一项所述的方法,其中所述分类特征( $\sigma^2$ , C, ...)是选自包括算术平均、方差( $\sigma^2$ )、偏斜度、超额(C),以及由所述样本图像的分解产生的小波系数的统计分布的熵的组中的统计参数。

12. 根据权利要求1~4的任一项所述的方法,其中所述安全文档为纸币。

13. 一种用于产生安全文档的方法,包括设计要被印刷、施加或以其他方式提供在安全文档上的安全特征的步骤,其中所述安全特征被设计为使依据在权利要求1中限定的方法所确定的真实文档的真实性等级最优化。

14. 根据权利要求13所述的方法,其中所述安全特征被设计成包括高密度图案。

15. 根据权利要求 14 所述的方法,其中所述图案是线性或曲线的凹版印刷图案。
16. 根据权利要求 13 ~ 15 的任一项所述的方法,其中所述安全文档为纸币。
17. 一种数字信号处理单元(200),所述数字信号处理单元(200)根据权利要求 1 ~ 12 中任一项所述的方法处理要被认证的候选文档(1)的表面的至少一个感兴趣区域(R. o. I.)的样本图像的图像数据,所述数字信号处理单元(200)被编程以执行对所述样本图像的所述数字处理。
18. 根据权利要求 17 所述的数字信号处理单元(200),其被实现为现场可编程门阵列(FPGA)单元。
19. 一种用于检查安全文档的真实性的装置,其根据权利要求 1 ~ 12 任一项所述的方法检查安全文档的真实性,所述装置包括用于获得感兴趣区域(R. o. I.)的样本图像的光学系统(100)和被编程用于执行对所述样本图像的数字处理的数字信号处理单元(200)。
20. 根据权利要求 19 所述的装置,其中所述数字信号处理单元(200)被实现为现场可编程门阵列(FPGA)单元。
21. 根据权利要求 19 或 20 所述的装置,其被实现为具有集成的图像采集功能的便携式电子装置。
22. 根据权利要求 21 所述的装置,其中所述具有集成的图像采集功能的便携式电子装置为智能电话。
23. 一种用于检测印刷、施加或以其他方式提供在安全文档上的安全特征(41-49 ;30 ;10 ;51、52)的方法,所述安全特征(41-49 ;30 ;10 ;51、52)包括用于产生所述安全文档的工艺所固有的典型的视觉特征,所述方法包括数字处理候选文档的表面的至少一个感兴趣区域(R. o. I.)的样本图像的步骤,所述感兴趣区域(R. o. I.)被选定为包括所述安全特征(41-49 ;30 ;10 ;51, 52)的至少一部分,所述数字处理包括通过对所述样本图像的小波变换(WT)执行对所述样本图像的分解,并从所述样本图像的分解中提取分类特征( $\sigma^2, C, \dots$ ),其特征在于,对所述样本图像的所述分解是基于对所述样本图像的不完全的小波包变换(WPT),并且所述分解包括将所述样本图像分解成包括至少一个逼近节点( $A_{i,j}$ )和细节节点( $cV_{i,j}, cH_{i,j}, cD_{i,j}$ )的小波包树,并寻找在所述小波包树内的具有最高信息含量的细节节点。
24. 根据权利要求 23 所述的方法,其中所述小波包变换(WPT)是二维平移不变小波包变换(2D-SIWPT)。
25. 根据权利要求 23 所述的方法,其中基于最佳分支算法(BBA)确定所述具有最高信息含量的节点。
26. 根据权利要求 25 所述的方法,其中所述最佳分支算法(BBA)涉及:
- 将所述样本图像分解到至少一个第一分解层( $i=1$ ),
  - 确定在所述第一分解层的细节节点( $cV_{1,1}, cH_{1,2}, cD_{1,3}$ )中的具有最高信息含量的细节节点、或最佳节点( $cB_1$ ),以及
  - 将所述第一分解层的逼近节点( $A_{1,0}$ )和最佳节点( $cB_1$ )进一步分解到至少一个第二分解层( $i=2$ )。
27. 根据权利要求 23 ~ 26 的任一项所述的方法,其中所述具有最高信息含量的节点被确定为在给定的分解层( $i$ )的节点中呈现最大方差( $\sigma^2$ )的节点。

28. 根据权利要求 23 ~ 26 的任一项所述的方法,用于检测凹版印刷图案(41-49)。
29. 根据权利要求 23 ~ 26 的任一项所述的方法,其中所述安全文档为纸币。

## 安全文档尤其是纸币的认证

### 技术领域

[0001] 本发明大体上涉及安全文档认证,尤其是纸币认证。更准确地说,本发明涉及所公开的以本发明的申请人的名义于2008年6月2日提交的国际申请号为W02008/146262A2,标题为“AUTHENTICATION OF SECURITY DOCUMENTS, IN PARTICULAR OF BANKNOTE S(安全文档认证,尤其是纸币认证)”的发明的进一步改进(该申请要求于2007年6月1日提交的欧洲专利申请号为07109470.0和于2007年6月20日提交的欧洲专利申请号为07110633.0的专利申请的优先权)。

### [0002] 发明背景

[0003] 在此引用以上确认的国际申请号为W02008/146262A2的专利申请及其全部公开内容中的现有技术的论述。在国际申请号为W02008/146262A2的专利申请中论述的所有的一般性原理同样适用于本发明。因此通过引用将国际申请号为W02008/146262A2的专利申请的内容全部并入本发明。

[0004] 本发明特别对在国际申请号为W02008/146262A2的专利申请中公开的发明的观点作出进一步改进。

### [0005] 发明概述

[0006] 因此本发明的总的目的是进一步改进在国际申请号为W02008/146262A2的专利申请中公开的方法、用途及装置。

[0007] 更准确地说,本发明的一个目的是提供一种改进的用于检查安全文档尤其是纸币的真实性的方法,所述方法更加稳健并且可以有效地区别印刷、施加或以其他方式提供在安全文档上的安全特征。

[0008] 特别地,本发明的目的在于改进在凹版印刷纹理与中等质量或高质量的商业平板印刷纹理之间的区分度。

[0009] 而本发明的另一个目的是提供这种可以方便且有效地实现在便携式装置中的方法。

[0010] 基于在随附的权利要求书中限定的技术方案实现这些目的以及其他的目的。

[0011] 因此提供一种用于检查安全文档尤其是纸币的真实性的方法,其中真实的安全文档包括印刷、施加或以其他方式提供在安全文档上的安全特征,所述安全特征包括用于产生安全文档的工艺所固有的典型的视觉特征,所述方法包括数字处理要被认证的候选文档的表面的至少一个感兴趣的区域的样本图像的步骤,所述感兴趣的区域包含所述安全特征的至少一部分,所述数字处理包括通过对样本图像进行小波变换(WT)的方式对样本图像执行分解。依据本发明,所述样本图像的分解是基于样本图像的小波包变换(WPT)。

[0012] 依据本发明的有利的实施方式,所述小波包变换(WPT)是二维平移不变小波包变换(2D-SIWPT),并优选地基于不完全小波包变换。

[0013] 在后者的情况下,所述样本图像的分解可以包括将所述样本图像分解成小波包树,所述小波包树包括至少一个逼近节点(approximation node)和细节节点(detail node),并寻找在所述小波包树内的具有最高信息含量的细节节点。这种确定优选地基于所

谓的最佳分支算法 (BBA)。

[0014] 还提供一种根据权利要求 14 的用于产生安全文档的方法, 以及一种根据权利要求 16 的数字信号处理单元和一种根据权利要求 18 的用于检查安全文档的真实性的装置。这种装置可以优选被实现为具有集成的图像采集功能的便携式电子装置, 如智能电话。

[0015] 还要求用于安全文档认证, 尤其是纸币认证的小波包变换 (WPT) 的用途。

[0016] 还提供一种用于检测印刷、施加或以其他方式提供在安全文档尤其是纸币上的安全特征的方法, 所述安全特征包括用于产生所述安全文档的工艺所固有的典型的视觉特征, 所述方法包括数字处理候选文档的表面的至少一个感兴趣的区域的样本图像的步骤, 所述感兴趣的区域被选定为包括所述安全特征的至少一部分, 所述数字处理包括通过对所述样本图像进行小波变换 (WT) 的方式对所述样本图像执行分解。所述样本图像的分解类似地基于所述样本图像的小波包变换 (WPT)。

[0017] 以上技术方案的优选实施方式构成从属权利要求的主题。

[0018] 附图简述

[0019] 通过阅读以下仅通过非限定性实施例说明和通过附图图示的方式呈现的本发明的实施方式的详细描述, 本发明的其他特征和优势将显得更加清楚, 其中:

[0020] 图 1a 是一个示例性的纸币样本的灰度扫描图;

[0021] 图 1b 是图 1a 的纸币样本的右上角部分的灰度图片;

[0022] 图 2a 和图 2b 是图 1a 的纸币样本的放大视图, 图 2b 对应于图 2a 中的白色正方形所指示的区域;

[0023] 图 3a 和图 3b 是图 1a 的纸币样本的第一彩色副本的放大视图, 图 3b 对应于图 3a 中的白色正方形所指示的区域;

[0024] 图 4a 和图 4b 是图 1a 的纸币样本的第二彩色副本的放大视图, 图 4b 对应于图 4a 中的白色正方形所指示的区域;

[0025] 图 5 是具有三个树层 (tree level) (两个分解层 (decomposition level)) 的二维树结构的小波包变换 (“WPT”) 的示意图;

[0026] 图 6 是实现为滤波器组的一维平移不变小波包变换 (“SIWPT”) 的示意图;

[0027] 图 7 示出了依据本发明的经过一级 2D-SIWPT 之后的凹版印刷纹理 (左) 和商业印刷纹理 (右) 的小波系数的归一化直方图;

[0028] 图 8 示出了依照本发明的优选实施方式的根据最佳分支算法 (BBA) 分解的不完全的小波包树;

[0029] 图 9 图示了作为凹版印刷的特征的六个不同的印刷纹理并且其已被用作组成一套实验样本的基础;

[0030] 图 10 是图示了图 9 的通过凹版印刷与通过中等质量和高质量的商业平版印刷的方式印刷的纹理的类间距离和类内距离的图;

[0031] 图 11 是图示了依据本发明的经过基于由样本图像的分解产生的小波系数的统计分布的方差  $\sigma^2$  和超额 (excess)  $C$  进行处理之后的样本的二维特征空间; 以及

[0032] 图 12 是用于依据本发明的方法检查安全文档的真实性的装置的示意图。

[0033] 本发明的实施方式的详细描述

[0034] 本发明的背景起源于观察利用仅适用于安全印刷机的特殊的生产工艺印刷、施加

或以其他方式提供到安全文档上的安全特征尤其是凹版印刷特征,显现出可由具有所涉及的特殊的生产工艺知识的专业人士识别的高度典型的视觉特征(在下文中称作“内在特征”)。

[0035] 以下的论述将集中于对由凹版印刷产生的内在特征的分析。然而应该理解的是,相同的方法可应用于纸币的其他内在特征,尤其是线条平版印刷(line offset printing)特征,凸版印刷特征和/或光学衍射结构。由申请人执行的测试的结果已显示出,凹版印刷特征十分适用于依据本发明的认证目的,而且给出了最佳结果。这尤其归功于凹版印刷能够印刷非常精细、高分辨率且清晰的图案的事实。因此凹版印刷是用于产生在本发明的上下文中采用的内在特征的优选工艺。

[0036] 图 1a 是一个说明性的纸币样本 1 的灰度图,其示出了由本发明的申请人在 2004 年所生产的儒勒·凡尔纳的肖像。利用专用于生产纸币的印刷与处理技术的结合生产该纸币样本 1,所述技术特别地包括用于印刷所述纸币的多色彩的背景 10 的线条平版印刷,用于印刷包括球体投影图 20 和六分仪 21 的图形的光变油墨图案的丝网印刷,应用光变装置的烫印箔技术,包括携带有光学衍射结构的沿着纸币的高度垂直延伸的材料带 30(在图 1a 中,带 30 由两条虚线示意性地划定界限),用于印刷多个凹版图案 41 至 49(包括儒勒·凡尔纳的肖像 41)的凹版印刷,用于印刷两个序列号 51、52 的凸版印刷,和给所述纸币涂一层保护性亮光漆的打光油技术。该纸币样本 1 在样本的右手边上还提供有标号 60,通过局部激光烧蚀带 30 和平版印刷的油墨的下面一层(未标示)施加标号 60。在说明性的实施例中,肖像 41(连同垂直的纪年标识 2004 和围绕在肖像周围的图片图形),具有天马座 42 的标语“KBA-GIORI”,标记“KBA-GIORI”43 和“Specimen”44,以及在所述纸币的三个角上和所述纸币的右手边和左手边上的触觉图案 45 至 49 都通过凹版印刷被印刷在线条平版背景 10 的顶部、丝网印刷的图形 20 和 21 的顶部以及材料带 30 的顶部。在所述凹版印刷阶段之后印刷序列号 51、52 并执行打光油。还应该理解的是,纸币样本 1 在单张印刷和处理装置上(如本申请的发明人所提供的)生产,每一印刷纸张携带有多个纸币样本的阵列(和本领域中一样),最后在生产过程结束将其切成单独的纸币样本。

[0037] 图 1b 是图 1a 的纸币样本的右上角部分的灰度图片,其更加详细的示出了凹版印刷的具有天马座 42 的标语“KBA-GIORI”和触觉图案 45,所述触觉图案包括一组部分与天马座 42 重叠的 45 度角的平行线。在这图片中,这典型的印花和凹版印刷的立体效果以及印刷的清晰度都清楚可见。

[0038] 图 2a 是图 1a 的肖像 41 的左手边部分的更加详细的视图(在图 2a 中,图案 20、21 和 44 也部分可见)。图 2b 是肖像 41 的正方形部分(或感兴趣的区域 R. o. I.)的放大视图,所述正方形部分由图 2a 中的白色正方形示出。图 2b 示出了一些组成肖像 41 的凹版图案的典型的内在特征。用于随后的信号处理的感兴趣的区域 R. o. I. 不需要覆盖所述文档的较大的表面面积。相反,测试已经显示小于  $5\text{cm}^2$  的表面面积已经足够用于认证目的。

[0039] 图 3a、图 3b 和图 4a、图 4b 是类似于图 2a、2b 的灰度图像,其示出了在图 1a 中示出的纸币样本的两种彩色副本,其中使用商业彩色复印装置生产所述副本。在图 3a 和图 4a 中的每一附图中,所绘出的白色正方形表示对应的肖像的感兴趣区域 R. o. I.。所述区域分别显示在图 3b 和图 4b 的放大视图中。使用爱普生喷墨打印机和爱普生打印纸产生在图 3a 和图 3b 中图示的第一彩色副本。使用佳能喷墨打印机和标准打印纸产生在图 4a 和图 4b

中图示的第二彩色副本。高分辨率的扫描仪被用来扫描原始样本,并为所述喷墨打印机提供必要的输入。

[0040] 虽然这两个彩色副本的总体视觉方面看起来类似于所述原始样本,近看构成所述肖像的复印的凹版图案的结构,如在图 3b 和图 4b 中所示,示出了所述结构不如所述原始样本清晰(看图 2b)以及由于喷墨印刷过程和所使用的纸张的性质导致这些结构显得有些模糊不清和平滑。包含在图 3b 和图 4b 中的图像信息明显不同于在图 2b 中示出的原始样本中的图像信息。在国际申请号为 W02008/146262A2 的专利申请中描述的发明涉及一种确定如何可以显示和利用这种差异以在图 2a、2b 的原始且真实的样本与图 3a、3b 和图 4a、4b 的副本之间进行区别的方法。以下论述将涉及现有方法的改进。

[0041] 如以上指出的,凹版印刷图案的内在和典型的特征特别在于印刷的高清晰度,然而尤其由于数字处理和印刷使喷墨印刷的副本显现出实质上较低的印刷清晰度。彩色激光印刷的副本,以及通过热升华过程获得的副本同样如此。通过小波变换(WT)的方式对样本图像执行分解,并从该分解中提取有代表性的分类数据,可以对诸如图 2b、3b 和图 4b 的视图的待认证的候选文档的放大视图(或感兴趣区域)中包含的图像数据执行分解来显示这种差异。应用于检查安全文档的真实性的目的的小波变换(WT)的一般原理在国际申请号为 W02008/146262A2 的专利申请中做了全面的论述,在此通过引用将该申请的内容全部并入本发明。

[0042] 小波是用于将特定的函数或信号分成不同等级的分量的数学函数。小波变换(或 Wavelet Transform-在下文中表示为“WT”)是通过小波表示函数或信号。WT 在表示具有间断点和尖锐峰值的函数和信号方面相对于传统的傅里叶变换具有优势。

[0043] 应该理解的是,傅里叶变换并不类似于 WT。实际上,傅里叶变换仅涉及将所处理的图像变换成表示图像的相关的空间频率内容的频谱,而没有任何关于等级的差别。

[0044] 在本说明书中将不深入地论述小波理论,因为该理论是本领域公知的且已经在多个关于该主题的教科书中被全面地论述和描述。感兴趣的读者可以参考如 [Mallat1989] 和 [Unser1995](参见在本说明书的结尾处的参考文献清单)。在 [Mallat1989] 中论述的金字塔结构的 WT 和在 [Unser1995] 中论述的平移不变 WT 连续地分解低频标。然而,一大类纹理的主频在中间频标。

[0045] 为了克服这个缺陷,本发明利用所谓的小波包变换(在下文中表示为“WPT”),小波包变换在本领域是公知的(如参见 [Chang1993])。在本发明的特定内容中 WPT 的使用构成了相对于公开在 W02008/146262A2 中的发明的改进,这将在下文中论述。

[0046] 如以上所述的,主要通过线条平版印刷、凸版印刷、铝箔应用、以及凹版印刷生产像纸币一样的安全印刷品。特别地后一种技术对纸币的可靠性起到主要作用(参见 [Dyck2008])。术语“intaglio(凹雕)”起源于意大利且意思为“雕刻”。相同名称的印刷方法使用具有雕刻的字母和结构的金属板。在印刷过程中,所雕刻的结构被填充油墨并在巨大的压力下(每英寸数十吨)直接压在纸张上(参见 [vanRenesse2005])。形成触觉浮雕和细线,这是凹版印刷工艺所特有的,并且通过商业印刷方法几乎不可能复制(参见 [Schaede2006])。由于凹雕过程被用于生产世界的货币,所以凹版印刷厂和拥有凹版印刷厂的公司由政府机关监督。

[0047] 就信号处理而言,凹雕技术的精细结构可以被视为具有某一空间频率范围的纹

理。因此,应该可以利用 WPT 检测它们。为了此目的,已提出优选地基于不完全 WPT 的新的特征提取算法(参见 [Jiang2003])。其属于自顶向下的方法并可以应用于冗余平移不变 WPT 和平移不变 WPT。所述算法依据基于小波系数的一阶统计矩的准则分解所谓的小波包树。

[0048] 所述 WPT 是经典 WT 的一般化,这意味着不但信号的逼近节点(低频部分)而且信号的细节节点(高频部分)都被分解(参见 [Zhang2002])。这导致了在图 5 中示意性示出的树结构的 WPT,和以上提及的中高空间频标(frequency scale)的较高分辨率的分解,其在经典 WT 中不被分解。由于其树特征,频标被称为节点或子图像。在每一分解层中,所有的叶节点被分解成一个逼近节点  $A_{i,j}$  和三个细节节点  $cV_{i,j}$ 、 $cH_{i,j}$  和  $cD_{i,j}$ 。 $cV_{i,j}$  表示垂直的细节节点, $cH_{i,j}$  表示水平的细节节点,以及  $cD_{i,j}$  表示对角线的细节节点,其中  $i$  是分解层数以及  $j$  是节点号。

[0049] 如在图 5 中所示,其示出了具有三个树层的二维树结构的小波包变换、原始图像或“根” $A_{0,0}$  被分解成( $i = 1$ , 第一分解层,在根之后的第二树层)一个逼近节点  $A_{1,0}$ ( $j = 0$ , 第一节点)和三个细节节点  $cV_{1,1}$ ( $j = 1$ , 第二节点)、 $cH_{1,2}$ ( $j = 2$ , 第三节点)和  $cD_{1,3}$ ( $j = 3$ , 第四节点)。然后第二树层的每一节点  $A_{1,0}$ 、 $cV_{1,1}$ 、 $cH_{1,2}$  和  $cD_{1,3}$  被进一步分解( $i = 2$ , 第二分解层,第三树层)成十六个节点( $j = 0$  至 15)  $A_{2,0}$ 、 $cV_{2,1}$ 、 $cH_{2,2}$ 、 $cD_{2,3}$ 、 $A_{2,4}$ 、 $cV_{2,5}$ 、 $cH_{2,6}$ 、 $cD_{2,7}$ 、 $A_{2,8}$ 、 $cV_{2,9}$ 、 $cH_{2,10}$ 、 $cD_{2,11}$ 、 $A_{2,12}$ 、 $cV_{2,13}$ 、 $cH_{2,14}$  和  $cD_{2,15}$ 。

[0050] 大多数现有的基于二维 WPT 的纹理分析方法做了明示或隐含的假设,即从相同的视角获得纹理图像(参见 [Coifman1992])。在许多实际应用中,不可能确保这一限制。因此,平移不变 WPT 是非常可取的。在二维 WPT 的传统实现中,信号首先由小波滤波器进行卷积,然后被降采样。所分解的信号的长度是原始信号的  $1/4^i$ ,其中  $i$  又是分解层数。所述降采样导致平移不变信号表示,如在 [Mallat1989] 中所论述。由 [Shensa1992] 描述的可替代方法通过在每一级中省略降采样产生了平移不变变换。这种方法的最大负担是由于高度冗余的信号表示造成的较大的计算工作量。考虑到这些不利条件,提出了一维平移不变 WPT(或“SIWPT”)。其基于由于在每一分解层中的降采样造成的  $\Delta$  个样本的任意信号变换由模数  $(\Delta, 2)$ (其中模数  $(x, y)$  指定所谓的模函数)限定的事实。因此,可以通过分解逼近节点和细节节点的由以下等式 [1] 和 [2] 定义的非平移形式和由以下等式 [3] 和 [4] 定义的单像素平移形式来实现平移不变表示。

$$[0051] \quad d_{i+1,2j}[k] = \sum_n h[n]d_{i,j}[n+2k], \quad [1]$$

$$[0052] \quad d_{i+1,2j+1}[k] = \sum_n g[n]d_{i,j}[n+2k], \quad [2]$$

$$[0053] \quad d_{i+1,2j+2^{2i-1}}[k] = \sum_n h[n]d_{i,j}[n+2k+1], \quad [3]$$

$$[0054] \quad d_{i+1,2j+2^{2i-1}}[k] = \sum_n g[n]d_{i,j}[n+2k+1], \quad [4]$$

[0055] 两种形式都被降采样并由任意小波滤波器  $g[n]$  和  $h[n]$  卷积。分别地  $h[n]$  是低通小波滤波器以及  $g[n]$  是高通小波滤波器(参见 [Mallat1989] 和 [Daubechies 1992])。

[0056] 基于信息含量准则(将在下文中论述)识别具有较大的信息含量的形式并将其进一步分解,而另一形式向上变形(upcast)。向上变形产生非冗余的表示和快速执行时间。在图 6 中图示了一维 SIWPT 作为滤波器组的实现。如所提及的,在每一树层中分解并降采

样非平移形式和单像素平移形式。基于信息含量准则,一个形式被进一步分解,而另一形式被放弃。

[0057] 以上提及的方法专门针对一维信号而定义。在本发明的上下文中,SIWPT 已经被修改用于二维信号,如图像。所产生的二维 SIWPT(或“2D-SIWPT”)首先分解为相关节点的四种不同的平移形式。基于所生成的信息含量,四种形式中的三种形式被放弃,而具有最高信息含量的形式被进一步分解。依据所执行的实验,在所述平移不变 WPT 之间的特征稳定性和质量上没有差异。

[0058] 如以上论述的,WPT 允许全面表征在所有频标的纹理。然而,随着分解层的增加,节点(或子图像)的数量以指数方式增长。这极大地减少了执行时间,从而使方法论被设计成仅集中于最相关的节点。

[0059] 对于纹理分析,通常不需要实现完全的小波包树分解。相反,集中于分别提供最佳的空间频率分辨率和最大的信息含量的节点更为重要。因此,依据本发明的优选的实施方式,WPT 依据信息含量准则被分解,导致了不完全的 WPT。大多数已知的方法如 [Chang1993]、[Jiang2003]、[Coifman1992]、[Saito1994]、[Wang2008] 和 [Wang2000] 使用图像的熵或平均能量达到此目的。[Choi2006] 应用具有一阶统计的 WT 以分类纸币的不同面额。

[0060] 从总体的观点来看,由上述印刷工艺印刷的纹理几乎不可区分。基于熵或能量的方法被设计成将不同的纹理分开,但不能以令人满意的结果区别它们。因此需要一种不同的方法。多种多样的印刷纹理分别在其灰度过渡和间断点上是不同的。特别地,与那些商业印刷品相比,凹版印刷纹理的间断点更加显著。这种差异可以通过小波系数的方差和超额被确定,如在国际申请号为 W02008/146262A2 的专利申请中所论述的。

[0061] 图 7 示出了依据本发明的经过一级 2D-SIWPT 之后的凹版印刷纹理(左)和商业印刷纹理(右)的小波系数的归一化直方图(同样参见图 12 至图 20 以及在国际申请号为 W02008/146262A2 的专利申请中的相关描述)。凹版印刷的高度间断结构导致在中等和较大的小波系数上权重较大,而商业印刷的直方图在较小的系数上狭窄地分布且权重较大。如果所述树关于方差和超额被分解,直到子图像的对比度被最大化,在这种特殊情况下,可以实现在不同的印刷技术之间的最佳分离。然后可以假设相关的子图像以最可能的方式表示所述纹理。

[0062] 考虑到生产公差和数字化处理,纹理可能受到附加噪声的影响。考虑到所述噪声由较小的小波系数表示(参见 [Fowler2005]),噪声纹理的直方图可以较广地分布。

[0063] 上述提及的两种性质导致三个阶段的停止准则 1 至 3:

[0064] 1. 如果在分解期间所述方差下降,子图像的对比度将减小;因此应该停止分解;

[0065] 2. 如果所述方差至少以和所述超额下降相同的程度增长,上一级的较小的小波系数将变得较大;因此子图像的噪声减小,并应该被进一步分解;所述准则可以表示为以下的不等式 [5]:

$$[0066] \quad \frac{\sigma_{i-1}^2 - \sigma_i^2}{\sigma_{i-1}^2} \geq \frac{C_{i-1} - C_i}{C_{i-1}} \quad [5]$$

[0067] 3. 如果在分解期间所述方差和超额都增长,所述子图像的对比度将增大;因此所述树应该被进一步分解。

[0068] 而且,如果子图像的尺寸小于  $16 \times 16$  系数的经验确定的数值,方差和超额可以在样本之间变化很大。因此,特征可能变得不稳定(参见 [Chang1993])。因此,所述子图像尺寸应该优选地被用作总的停止准则。

[0069] 现在将陈述基于上文提及的信息含量和停止准则的新颖的算法概念。这种概念是基于仅提供最佳空间频率分辨率的树的分支对于纹理分析来说是重要的假设。以下对树的特性的检查导致所谓的最佳分支算法(BBA)。

[0070] 所述细节节点,顾名思义,包含纹理的具体特征或细节特征。因此,尽管所述纹理是类似的,它们可以通过此信息被区别开来。树的最左边的分支(所谓的逼近分支)的逼近节点,仅包含低频信息。因此,利用所述逼近分支的信息含量几乎不可能区别不同的印刷技术,且因此这种逼近分支不应该被用于特征提取。理论上表示中频标的较低部分的子节点可能产生最佳空间频率分辨率。所述信息不能从所述逼近节点中直接地提取出来。由于这个原因,只要其子节点产生了整个树的最佳空间频率分辨率,所述逼近节点就必须被分解。为了加速执行时间,有利的是,集中于具有所述最佳空间频率分辨率的细节分支和所述逼近分支(只要其子节点支持多于最佳细节分支的信息)。对于下一个分解层的细节分支的估算,必须研究具有当前级的最高信息含量的节点,即所谓的最佳节点。由于在相同树层的子图像的超额几乎相等,可以通过最大方差确定所述最佳细节节点。

[0071] 以下表格概述了最佳分支算法(Best Branch Algorithm)的可能实现:

[0072]

**Algorithm 1 Best Branch Algorithm**

```

Require:  $\text{mod}(M \times M, 2) = 0$ 
finished  $\leftarrow$  false
i  $\leftarrow$  1
 $A_{i,0}, cV_{i,1}, cH_{i,2}, cD_{i,3} \leftarrow 2D\text{-SIWPT}(A_{i-1,0})$ 
while ( $i \leq \log_2(M \times M = 16 \times 16)$  and  $\neg(\textit{finished})$ ) do
   $cB_i (\max(\sigma(A_{i,0}, cV_{i,1}, \dots, cD_{i,7}))$  { 确定最佳细节节点  $cB_i$ }
  if  $cB_i \subset A_{i-1,0}$  then
    {最佳节点是逼近分支的一部分 }
    delete  $A_{i,4}, cV_{i,5}, cH_{i,6}, cD_{i,7}$ 
    j  $\leftarrow$  0
  else
    { 最佳节点是细节分支的一部分 }
    delete  $A_{i,0}, cV_{i,1}, cH_{i,2}, cD_{i,3}$ 
    j  $\leftarrow$  4
  end if
   $\sigma^2_i \leftarrow \sigma^2_{cV_{i,j+1}} + \sigma^2_{cH_{i,j+2}} + \sigma^2_{cD_{i,j+3}}$ 
   $C_i \leftarrow C_{cV_{i,j+1}} + C_{cH_{i,j+2}} + C_{cD_{i,j+3}}$ 
  if  $\sigma^2_{i-1} > \sigma^2_i$  then
    finished  $\leftarrow$  true
    {已经达到最佳空间频率分辨率 }
  else if  $C_{i-1} > C_i$  then
    if  $\neg(\text{Eq. [5]})$  then
      finished  $\leftarrow$  true
      { 已经达到最佳空间频率分辨率 }
    else
      increment i
      if  $cB_{i-1} \subset A_{i-2,0}$  then
         $A_{i,0}, cV_{i,1}, cH_{i,2}, cD_{i,3} \leftarrow 2D\text{-SIWPT}(A_{i-1,0})$ 
         $A_{i,4}, cV_{i,5}, cH_{i,6}, cD_{i,7} \leftarrow 2D\text{-SIWPT}(cB_{i-1})$ 
      else
         $A_{i,4}, cV_{i,5}, cH_{i,6}, cD_{i,7} \leftarrow 2D\text{-SIWPT}(cB_{i-1})$ 
      end if
    end if
  end while
  { $C_{i-1}$  和  $\sigma^2_{i-1}$  表示最有可能的纹理 }

```

[0073] 图 8 示意性地示出了使用上述最佳分支算法 (Best Branch Algorithm) 已被分解的不完全的小波包树的图解。突出的节点被识别为其对应的分解层的最佳节点 ( $cB_1, cB_2, cB_3$ ) 以及虚线节点是那些在分解期间被放弃的节点。第三分解层的细节分支几乎最佳地表征了纹理。

[0074] 在图 8 的图解中,从而将理解的是,第一分解层 ( $i = 1$ ) 的最佳节点  $cB_1$  在此说明性实施例中被确定为包含对角线的细节节点 ( $cD_{1,3}$ ) 的节点,即与相同分解层的其他细节节点 ( $cV_{1,1}$  和  $cH_{1,2}$ ) 相比呈现出最高方差的节点。

[0075] 在下一分解层 ( $i = 2$ ) 中,仅第一分解层的逼近节点  $A_{1,0}$  和最佳节点  $cB_1$  被进一步分解以确定哪个节点导致最佳信息含量。如在图 8 的实施例中所示,逼近节点  $A_{1,0}$  的进一步分解导致为第二分解层确定最佳节点  $cB_2$ 。在此实施例中,所述第二分解层 ( $i = 2$ ) 的最佳节点  $cB_2$  在此说明性实施例中被确定为包含对角线的细节的节点  $cD_{2,3}$ ,其由逼近节点  $A_{1,0}$

的进一步分解产生,即与相同分解层的其他细节节点 ( $cB_{2,1}$ 、 $cH_{2,2}$ 、 $cV_{2,13}$ 、 $cH_{2,14}$  和  $cD_{2,15}$ ) 相比呈现出最高方差的节点。在此实施例中,因此先前发现的最佳节点  $cB_1$  (即细节节点  $cD_{1,3}$ ) 的进一步分解导致分解成节点  $A_{2,12}$ 、 $cV_{2,13}$ 、 $cH_{2,14}$  和  $cD_{2,15}$ ,所述节点随后被放弃,如虚线所示。

[0076] 在下一分解层 ( $i = 3$ ) 中,仅第二分解层的逼近节点  $A_{2,0}$  和最佳节点  $cB_2$  被进一步分解以类似地确定哪个节点导致最佳信息含量。在此实施例中,第三分解层 ( $i = 3$ ) 的最佳节点  $cB_3$  被确定为包含水平细节的细节节点  $cH_{3,24}$ ,其由先前的最佳节点  $cB_2$  的进一步分解产生,即与相同分解层的其他的细节节点 ( $cV_{3,1}$ 、 $cH_{3,2}$ 、 $cD_{3,3}$ 、 $cV_{3,13}$  和  $cD_{3,15}$ ) 相比呈现出最高方差的节点。在此实施例中,因此逼近节点  $A_{2,0}$  的进一步分解导致分解成节点  $A_{3,0}$ 、 $cV_{3,1}$ 、 $cH_{3,2}$  和  $cD_{3,3}$ ,所述节点随后被放弃,如虚线所示。

[0077] 图 8 示出了第三分解层的最佳节点  $cB_3$  的进一步分解没有导致更优的特征表示,并因此停止分解。因此,第三级的细节分支被选择用于特征提取。

[0078] 已经进行实验并研究了一组由申请人制作的 900 个纹理。通过用于安全文档尤其是纸币的生产的凹版印刷来生产所述组的一部分。通过其他的用于报纸印刷的商业平版印刷来生产所述组的另一部分。这另一部分可以被进一步分成高质量的印刷品和中等质量的印刷品,所述中等质量的印刷品受到附加噪声的影响。高质量的商业印刷的纹理和中等质量的商业印刷的纹理通过未经训练的人眼都几乎不能区别于凹版印刷的纹理。由于生产公差的存在,所述纹理被转移和 / 或旋转几个像素。其已以 1200dpi 的分辨率进行扫描并被转化为灰度图片。如在图 9 中所示,所述组由具有  $256 \times 256$  个像素的图像尺寸的六个不同的纹理构成。如在图 9 中所示,所述纹理在对比度、灰度级过渡的范围和结构方面存在不同。它们是由凹版印刷生产的最常见的安全印刷结构的图示。

[0079] 在图 9 中图示的所有纹理 1 至 6 已通过上文提及的使用所谓的 Daubechies2 拍 (tap) 小波 (或 db2- 参见 [Daubechies1992]) 的二维平移不变小波包变换 (2D-SIWPT) 和通过采用以上论述的最佳分支算法 (BBA) 被分解。

[0080] 对于分离效果的评估,所提取的特征已被归一化为相同范围的 0 和 1 之间的数值。图 10 分别示出了第一至第三分解层 (在图 10 中指示在水平坐标轴上) 的在凹版印刷的纹理与中等质量和高质量商业平版印刷的纹理之间的类间距离和类内距离。虚线突出最佳分支算法已经停止分解的对应的分解层。

[0081] 在图 10 中,我们可以观察到,所述最佳分支算法已经在凹版印刷的纹理与中等质量或高质量商业平版印刷的纹理之间以 100% 比率达到最佳类间距离的级处停止分解。中等质量和高质量商业平版印刷的纹理的对应的类内距离在大多数情况下减小了约 60% 的比率。尽管所有的 900 个研究的纹理的所述类内距离没有最小化,但可以观察到,所述类是狭窄分布的。因此,一般来说,所述 BBA 在所述类被最佳分开和最低限度地扩展的级处停止。

[0082] 图 10 展示了最佳分支算法 (BBA) 在所有 900 个研究的纹理被最佳表征的级处停止了其的分解。这样,以 100% 的比率达到最佳类间距离。尽管在所有的情况下所述类内距离没有达到最小,如在图 11 中示意性示出的,所述类群仍较窄地分布。

[0083] 图 11 示出了二维特征空间,其中相关纹理基于使用 BBA 分解产生的小波系数的分布的方差  $\sigma^2$  (沿着图 11 中的水平坐标轴) 和超额  $C$  (沿着图 11 中的垂直坐标轴) 被分类。

[0084] 图 11 的右下角的圆圈指示中等质量的商业平版印刷的纹理,而图 11 的下方中间部分的菱形指示高质量商业平版印刷的纹理。图 11 的左上角的正方形指示凹版印刷的纹理。

[0085] 如已提及的,图 11 示出了 BBA 一般在所述类是最佳分开和最低限度地扩展的级处停止。这允许使用线型边界简单分离多个类群。

[0086] 所述分离效果不依赖于如过渡的生产公差和变化的对比度。事实上,在图 9 中示出的所有研究的特征是紧密地群集的,尽管其在对比度、灰度过渡的范围和结构方面存在明显的不同。已经观察到,树中的最佳分支的位置可以在样本之间显著变化。因此,由 BBA 发现的特殊节点的位置一般不应该被用作分类特征。

[0087] 基于 BBA 的不完全的 2D-SIWPT 的执行时间可以被定义为  $O(\log_2(N))$ ,其中  $N = M \times M$  是纹理图像的大小,所述执行时间优选地适用于实际的实现,例如在现场可编程门阵列 (FPGA) 上的实现。

[0088] 所提出的用于区别印刷在安全文档尤其是纸币上的不同纹理的不完全二维平移不变小波包变换已经展示出实现检查安全文档尤其是纸币的真实性的非常好的性能。这种方法尤其适用于需要稳健地检测印刷、施加或以其他方式提供在安全文档如纸币上的安全特征,特别适用于检测凹版印刷图案。

[0089] 除了方差  $\sigma^2$  (和标准差  $\sigma$ ) 和超额  $C$  (或超额峰态) 之外,其他统计参数可以被用来表征所述小波系数的统计分布,即 (同样参见图 13) 和在 W02008/146262A2 的专利申请中的相关描述):

[0090] - 小波系数的算术平均—在统计学中也称作“一阶矩”;

[0091] - 小波系数的统计分布的偏斜度—在统计学中也称作“三阶矩”—其是统计分布的非对称性的量度;和 / 或

[0092] - 统计熵,其是统计分布中的变化的量度。

[0093] 为了特征提取的目的,上面列出的矩 (包括方差) 应被归一化以允许多种候选文档的适当的比较和分类。

[0094] 图 21 示意性地图示了用于依据上述方法检查安全文档尤其是纸币的真实性的装置的一种实现。所述装置包括用于获得要被认证的候选文档 1 上的感兴趣区域 R. o. I. 的样本图像 (图像  $c^0$ ) 的光学系统 100,和被编程用于执行所述样本图像的数字处理的数字信号处理 (DSP) 单元 200。DSP200 可以特别有优势地实现为现场可编程门阵列 (FPGA) 单元。

[0095] 图 12 所示的装置可以特别被实现为具有集成的图像采集功能的便携式电子装置的形式,如智能电话。

[0096] 将理解的是,上述发明可以被应用于简单地检测印刷、施加或以其他方式提供在安全文档尤其是纸币上的安全特征 (尤其是凹版印刷图案)。

[0097] 如以上说明的,所述分类特征可方便地为选自包括算术平均、方差 ( $\sigma^2$ )、偏斜度、超额 ( $C$ ),以及由所述样本图像的分解产生的小波系数的统计分布的熵的组中的统计参数。

[0098] 将进一步理解的是,可提供所述方法用于基于所提取的分类特征确定候选文档的真实性等级。依据上述方法计算的这种真实性等级可以通过设计要被印刷、施加或以其他方式提供在安全文档上的安全特征的方式被优化以使真实文档的真实性评级最优化。

[0099] 特别地,通过对包括凹版图案、线条平版图案、凸版图案、光学衍射结构和 / 或其

组合的安全特征进行设计可以实现这种优化。高密度的这种图案,优选为线性或曲线的凹版印刷图案,例如在图 2b 中所示,将是特别需要的。

[0100] 对上述实施方式可以做出多种修改和 / 或改进而不偏离由所附权利要求限定的本发明的范围。

[0101] 例如,如已经提及的,在认证原理优选地基于包含 (或假设包含) 凹版印刷图案的图像的处理时,本发明可以类似地应用于包含其他安全特征的图像的处理,所述安全特征包括用于产生安全文档的过程所固有的典型的视觉特征,尤其是线条平版图案、凸版图案、光学衍射结构和 / 或其组合等。

[0102] 另外,虽然频谱系数的统计分布的处理已被描述为一种提取用于确定被研究的纹理的类别的分类特征的方法,可以设想任何其他适用的处理,只要这种处理能够分离和获得足以表示所研究的安全特征且可以有效地区别真实文档与伪造品的特征。

[0103] 明显地,依据本发明可以数字处理对应于同一候选文档的多个感兴趣区域的多个样本图像。在任何情况下,优选每一感兴趣的区域被选定为包括高密度图案,优选为线性或曲线的凹版印刷图案,例如在图 2b 中所示 (也参见图 9)。

#### [0104] 参考文献

[0105] [Mallat1989]Stephane g.Mallat,“Theory for Multiresolution Signal Decomposition:the Wavelet Representation(用于多分辨率信号分解的理论:小波表示)”,关于图案分析和机械智能的 IEEE 会刊,第 11 卷,第 7 期 (1989 年 7 月),第 674 至 693 页

[0106] [Unser1995]Michael Unser,“Texture Classification and Segmentation Using Wavelet Frames(使用小波框架的纹理分类和细分)”,关于图像处理的 IEEE 会刊,第 4 卷,第 11 期 (1995 年 11 月),第 1549 至 1560 页

[0107] [Chang 1993]Tianhorng Chang and C.-C. Jay Kuo,“Texture Analysis and Classification with Tree-structure Wavelet Transform(具有树结构的小波变换的纹理分析和分类)”,关于图像处理的 IEEE 会刊,第 2 卷,第 4 期 (1993 年 10 月),第 429 至 441 页

[0108] [Dyck2008]Walter Dyck, Thomas Turke, Johannes Schaede 和 Volker Lohweg,“A New Concept on Quality Inspection and Machine Conditioning for Security Prints(关于安全印刷品的质量检查和机械调节的新概念)”,光学文档安全,关于光学安全和伪造品制止的 2008 会议,旧金山,加利福尼亚,美国,搜索国际出版商和顾问 (2008 年 1 月 23-25 日)”,I 关于图案分析和机械智能的 IEEE 会刊,第 11 卷,第 7 期 (1989 年 7 月),第 9 页,出版在 CD-ROM 上。

[0109] [Vanrenesse2005]Rudolf L. Van Renesse,“Optical Document Security(光学文档安全)”第三版 (2005),阿尔泰克议会波士顿 / 伦敦,阿尔泰克议会光电学图书馆 (ISBN1-58053-258-6),第 115 至 120 页

[0110] [Schaede2006]Johannes Schaede 和 Volker Lohweg,“The Mechanisms of Human Recognition as A Guideline for Security Feature Development(作为安全特征发展的指导方针的人类识别机制)”,光学文档和伪造品制止技术 VI,由 Rudolf L. Van Renesse 编辑, SPIE-IS&T 电子成像学报, SPIE 第 6075 卷 (2006),第 607507-1 至 607507-10 页。

- [0111] [Jiang2003]Xiao-yue Jiang 和 Rong-chuan Zhao,“Segmentation Based on Incomplete Wavelet Pocket Frame(基于不完全小波包框架的细分)”,关于机械学习和控制论的第二次国际会议的 IEEE 学报,西安(2003年11月2-5日),第3172至3177页.
- [0112] [Zhang2002]Jiangguo Zhang 和 Tieniu Tan,“Brief Review of Invariant Texture Analysis Methods(不变纹理分析方法的简要回顾)”,图案识别研讨会,35(2002),第735至747页.
- [0113] [Coifman1992]Ronald R.Coifman 和 Mladen Victor Wickerhauser,“Entropy-Based Algorithms for Best Basis Selection(用于最佳标准选择的基于熵的算法)”,关于信息理论的 IEEE 会刊,第38卷,第2期(1992年3月),第713至718页.
- [0114] [Shensa1992]Mark J.Shensa,“The Discrete Wavelet Transform:Wedding the Atrous and MallatAlgorithms(离散小波变换:结合多孔算法和马拉特算法)”,I 关于信号处理的 EEE 会刊,第40卷,第10期(1992年10月),第244至2482页.
- [0115] [Daubechies992]Ingrid Daubechies,“The Lecture on Wavelet(关于小波的演讲)”在应用数学 61 中的 CBMS-NSF 区域会议系列,SIAM(工业数学和应用数学研讨会),第二版,1992,ISBN 0-09871-274-2
- [0116] [Saito 1994]Naoki Saito,“Local Feature Extraction and its Applications Using a Library of Bases(使用基础库的局部特征提取及其应用)”,博士论文,耶鲁大学,(1994年12月)
- [0117] [Wang2008]Qiong Wang,Hong Li 和 Jian Liu,“Subset Selection Using Rough Set in Wavelet Pocket Dased Texture Classification(在基于小波包的纹理分类中使用粗糙集选择子集)”,关于小波分析和图案识别的 2008 国际会议的学报,香港(2008年8月30-31日),第662至666页.
- [0118] [Wang2000]Xiaidan Wang, Hua Jin 和 Rongchun Zhao,“Texture Segmentation Method Based on Incomplete Tree Structured Wavelet Transform and Fuzzy Kohonen Clustering Network(基于不完全树结构的小波变换和模糊聚类网络的纹理细分方法)”,关于智能控制和自动化的第三次世界会议的学报,(2000年6月28日至2000年7月2日),第2684至2687页.
- [0119] [Choi2006]Euisun Choi,Jongseok Lee 和 Joonhyun Yoon,“Feature Extraction for Bank Note Classification Using Wavelet Transform(使用小波变换的用于纸币分类的特征提取)”,关于图案识别的第18次国际会议的 IEEE 学报,ICPR”06(2006),第934至937页.
- [0120] [Fowler2005]James E.Fowler,“The Redundant Discrete Wavelet Transform and Additive Noise(冗余离散小波变换和附加噪声)”,IEEE 信号处理信函,第12卷,第9期(2005年9月),第629至632页.

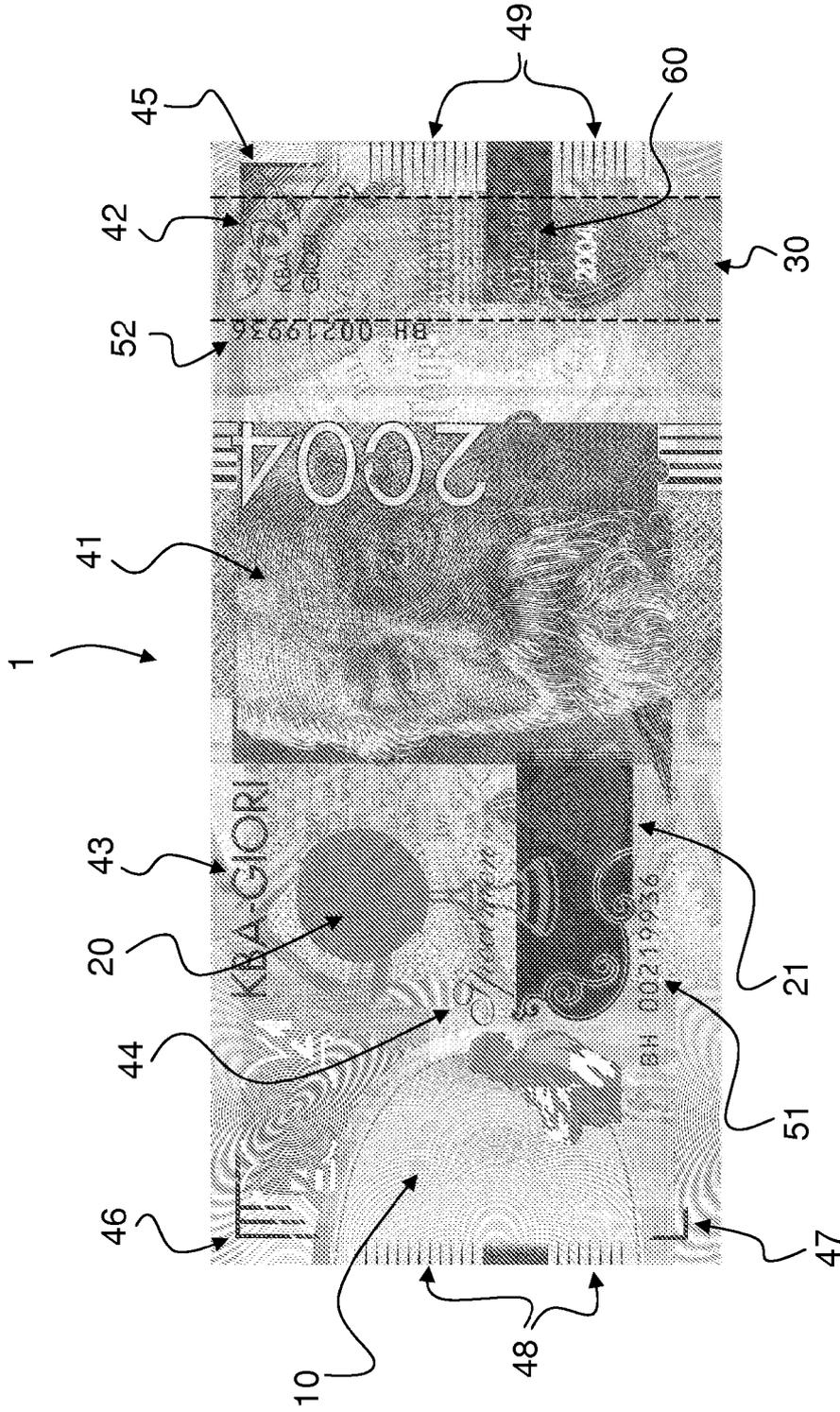


图 1a

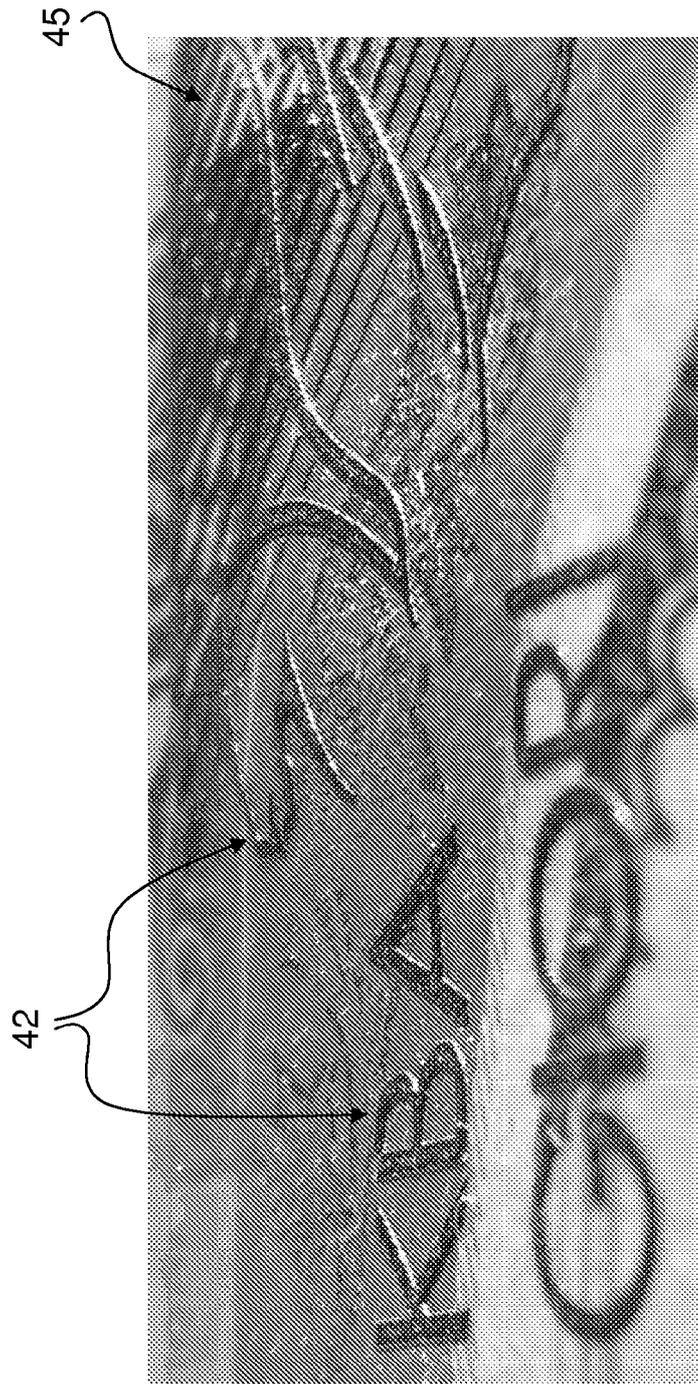


图 1b

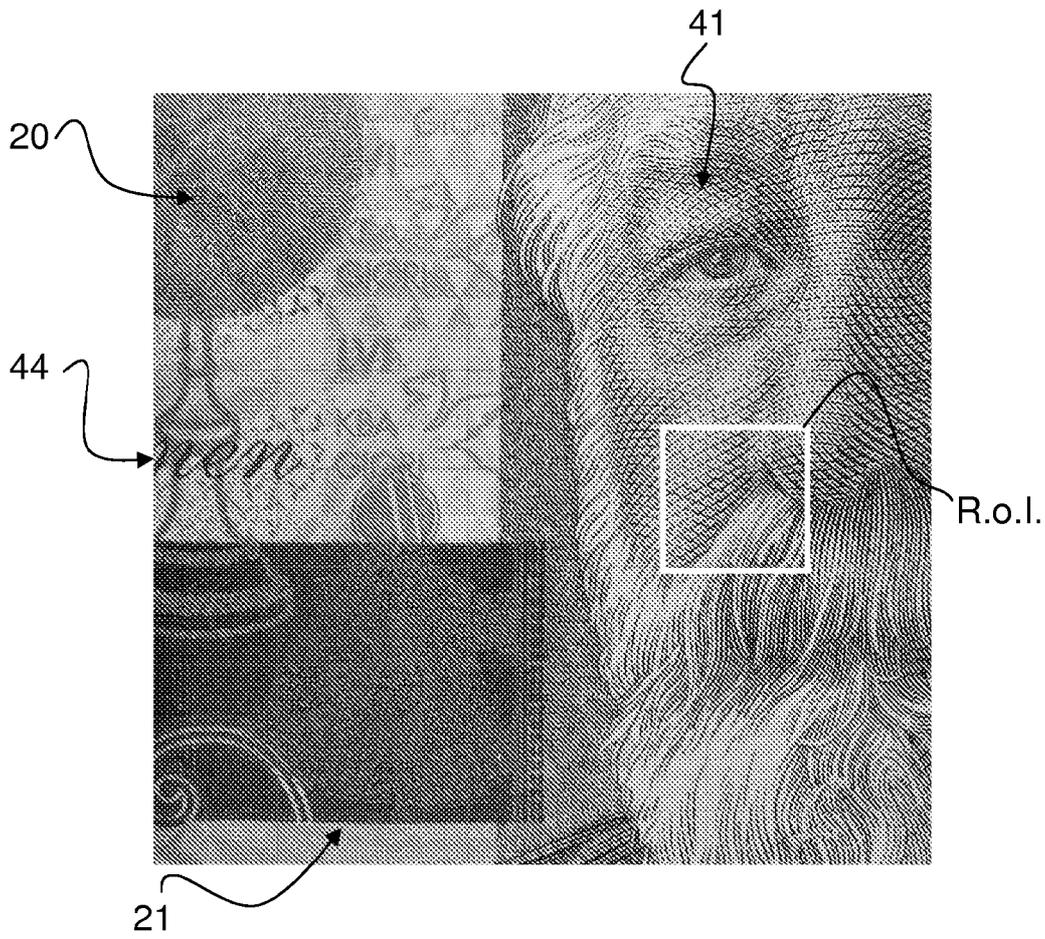


图 2a

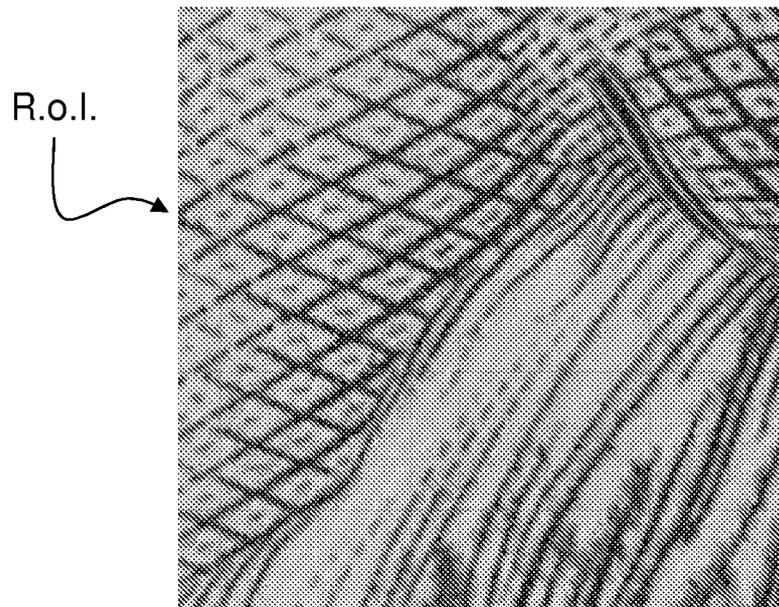


图 2b

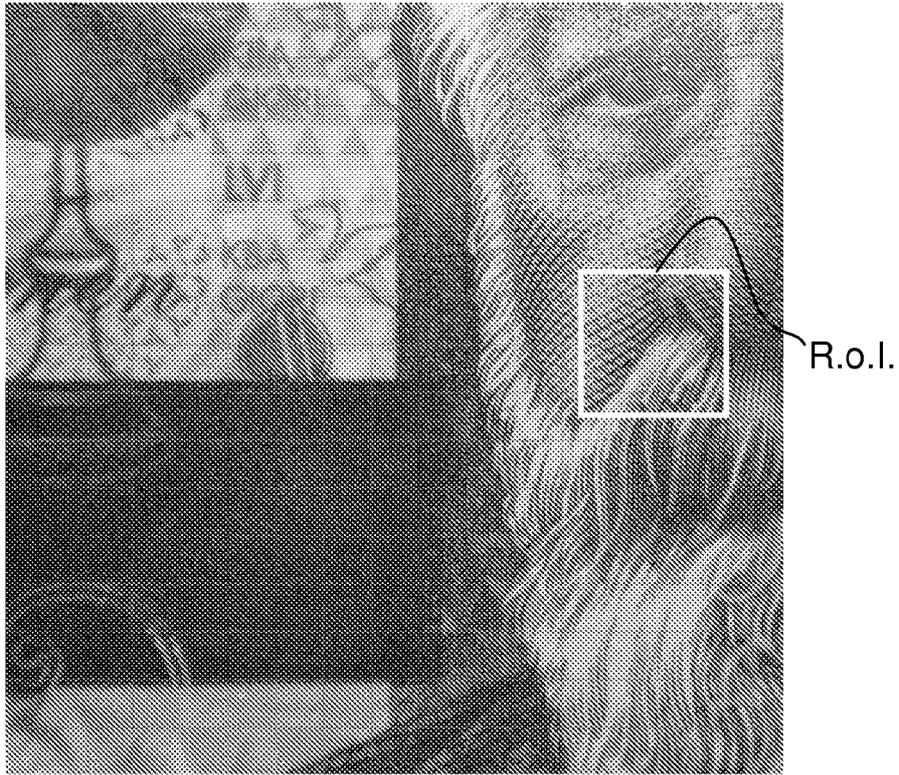


图 3a

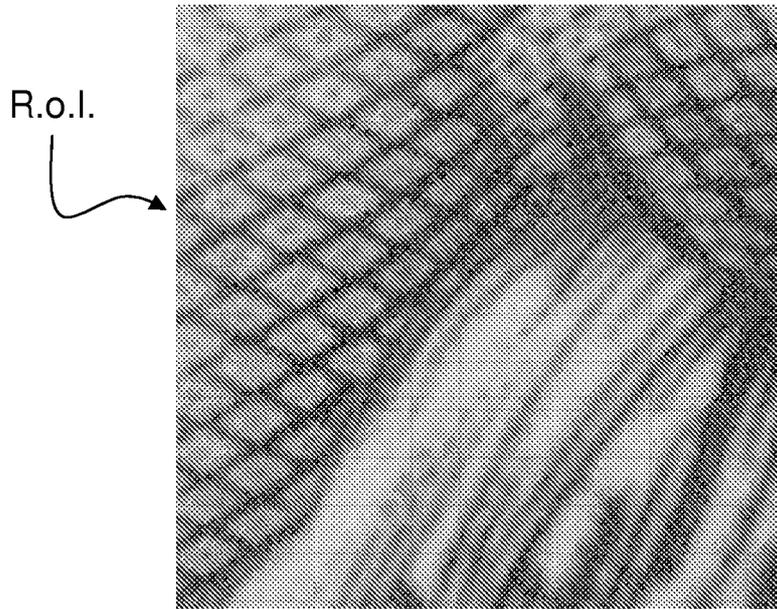


图 3b

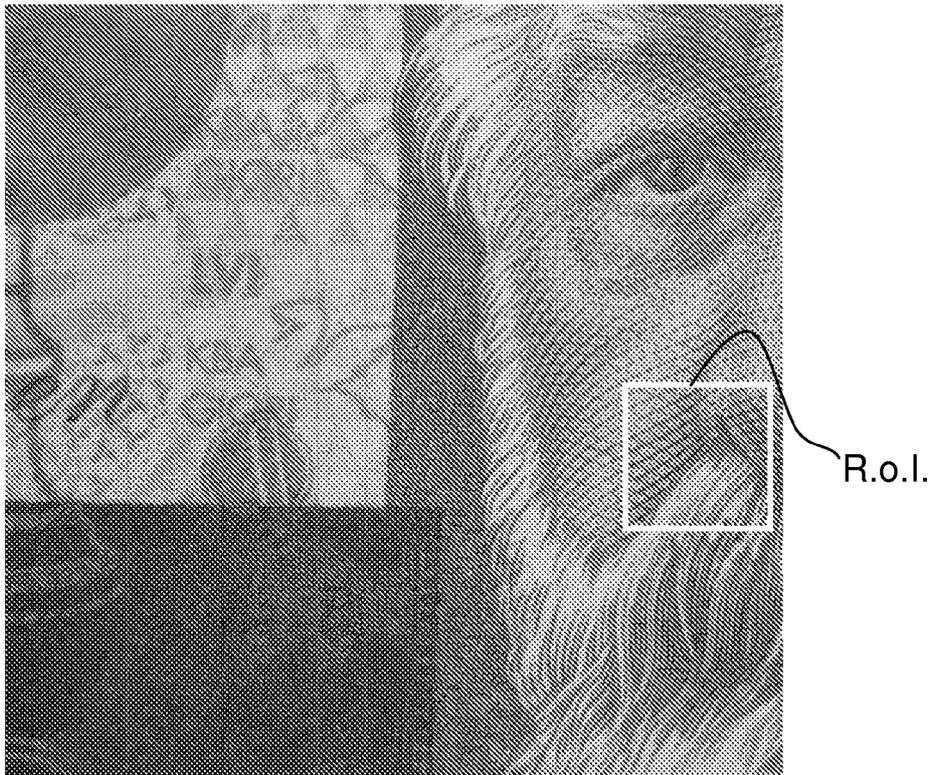


图 4a

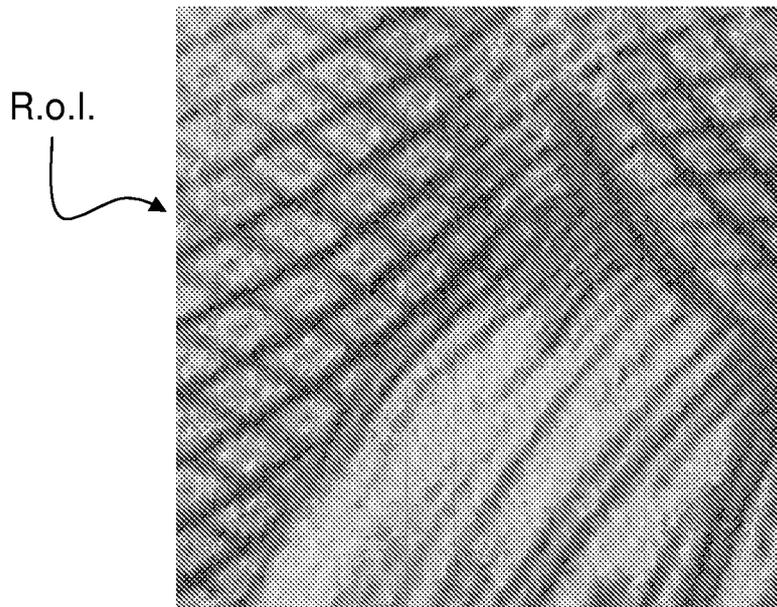


图 4b

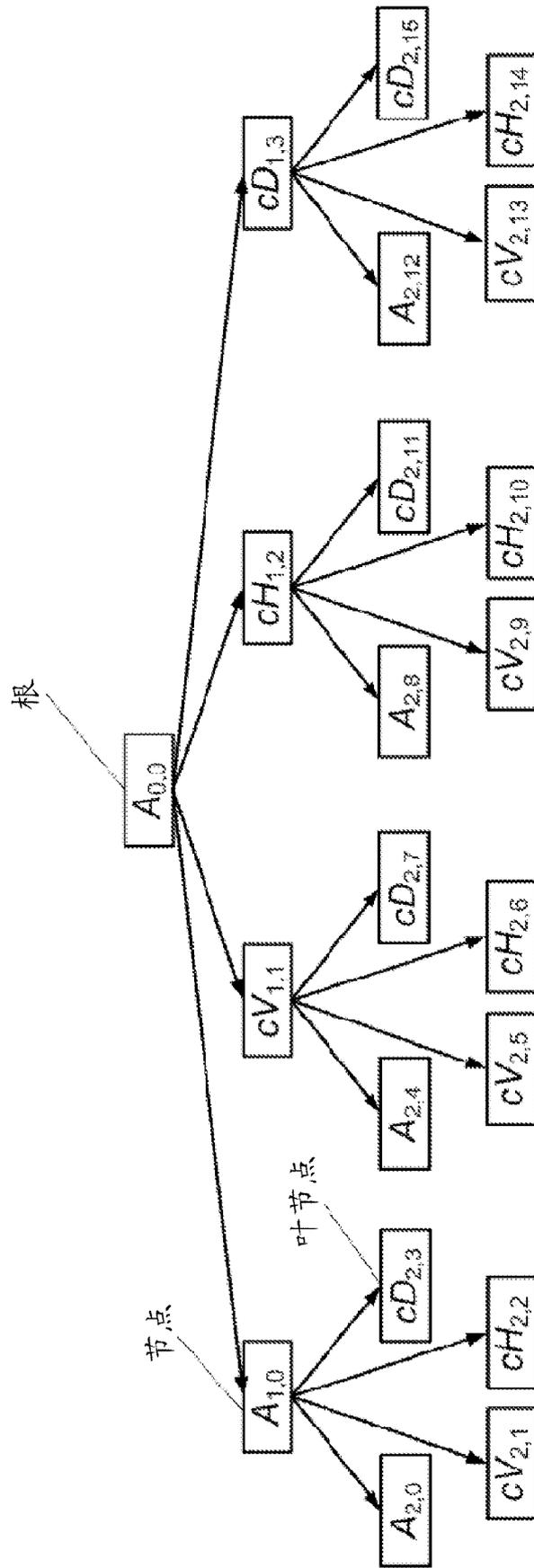


图 5

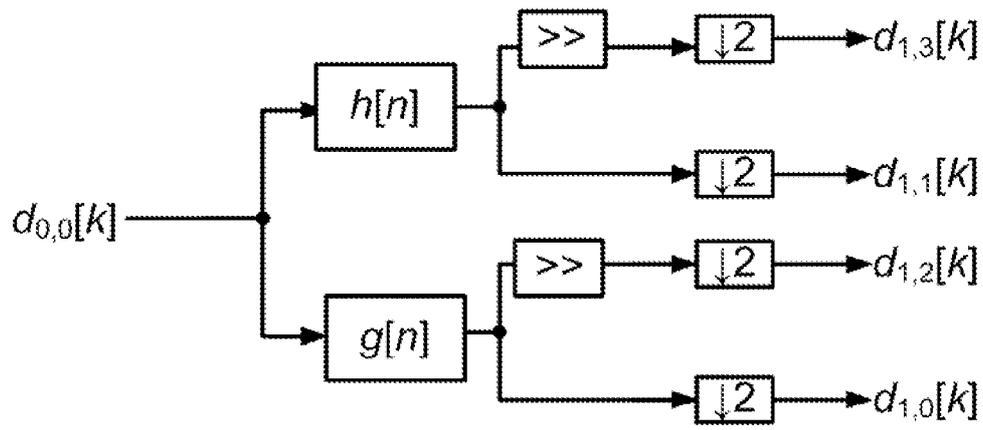


图 6

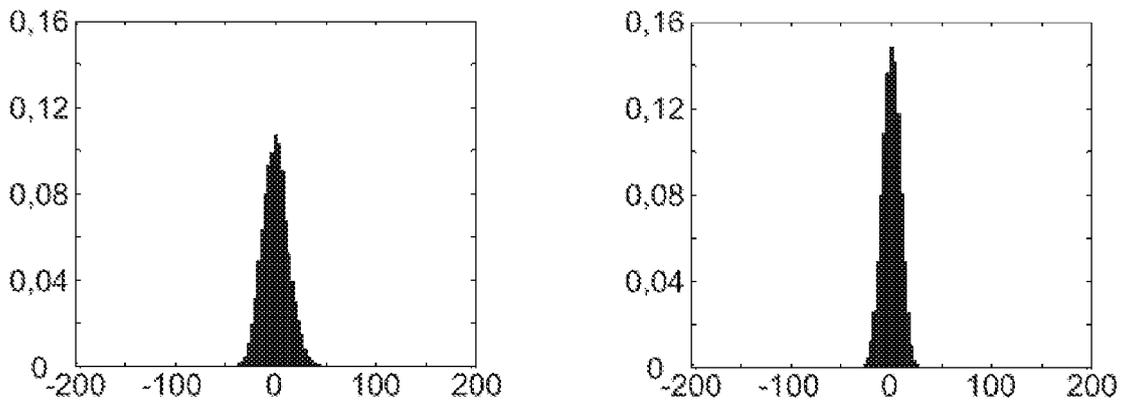


图 7

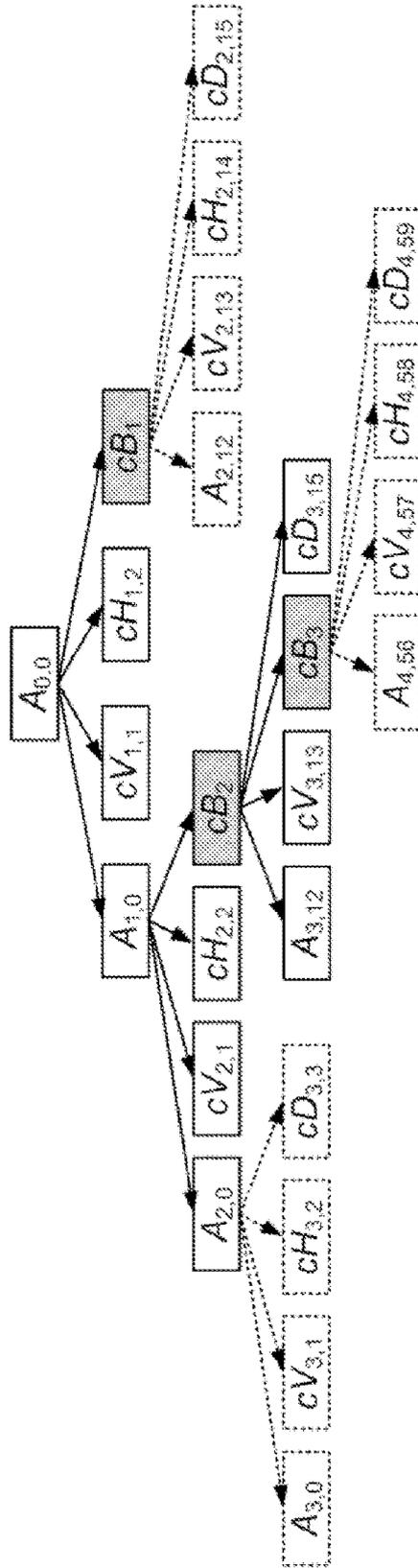


图 8

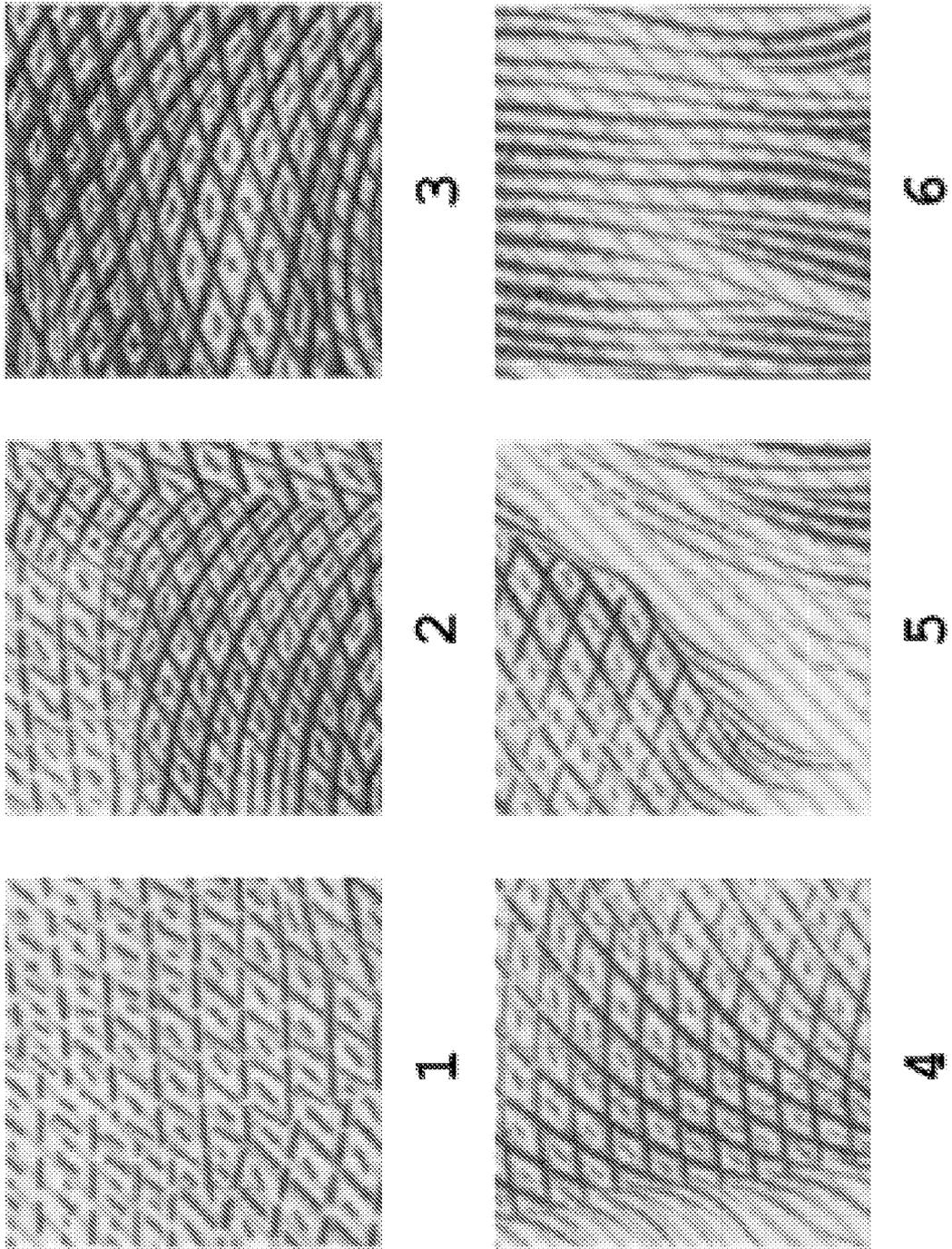


图9

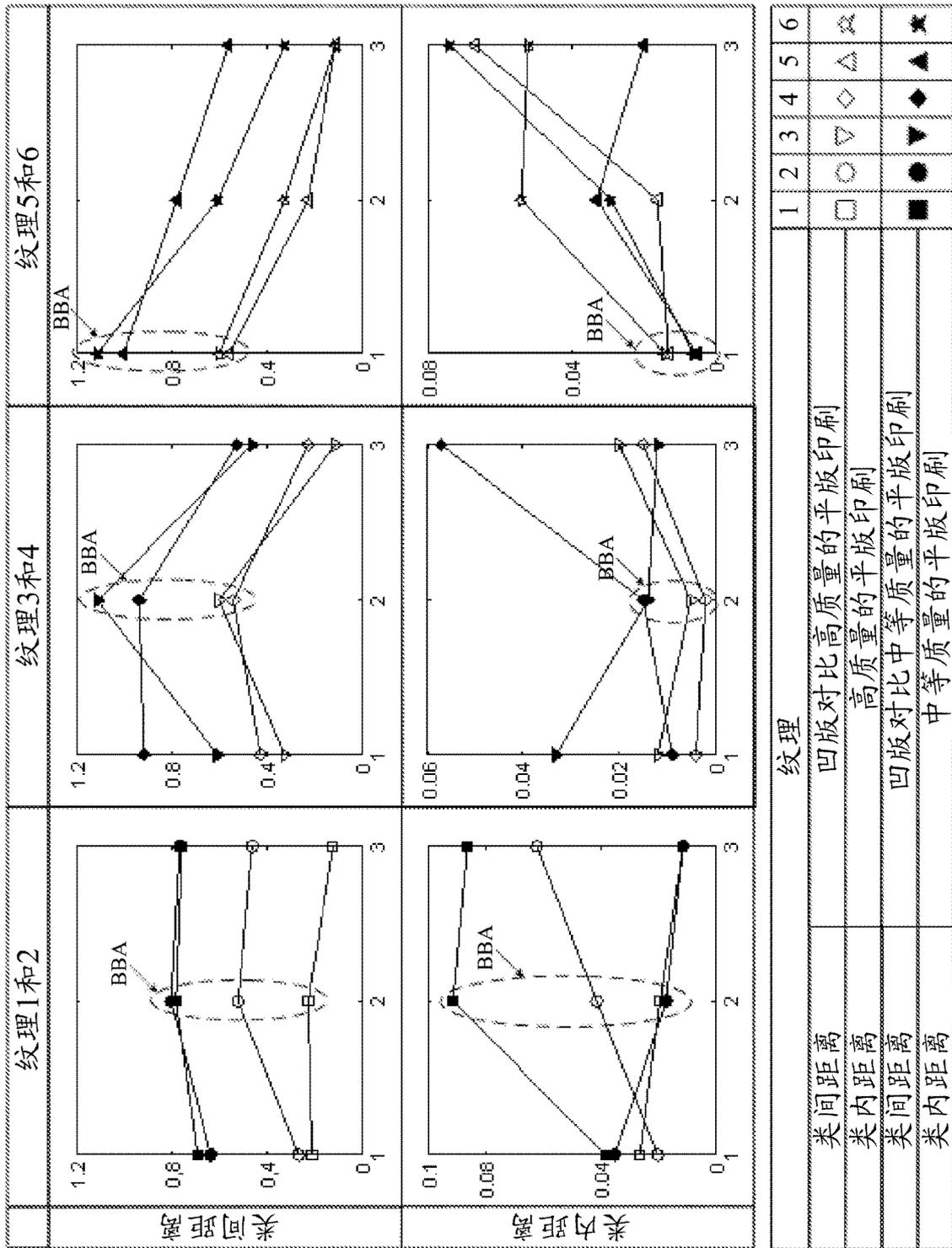


图 10

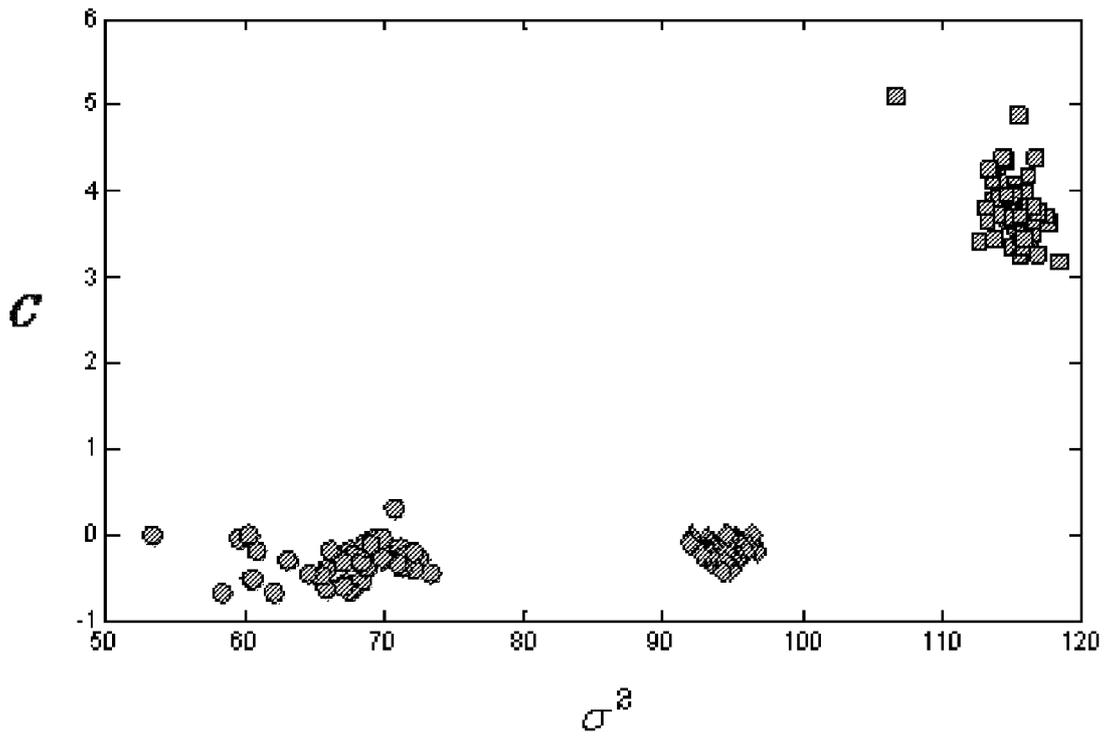


图 11

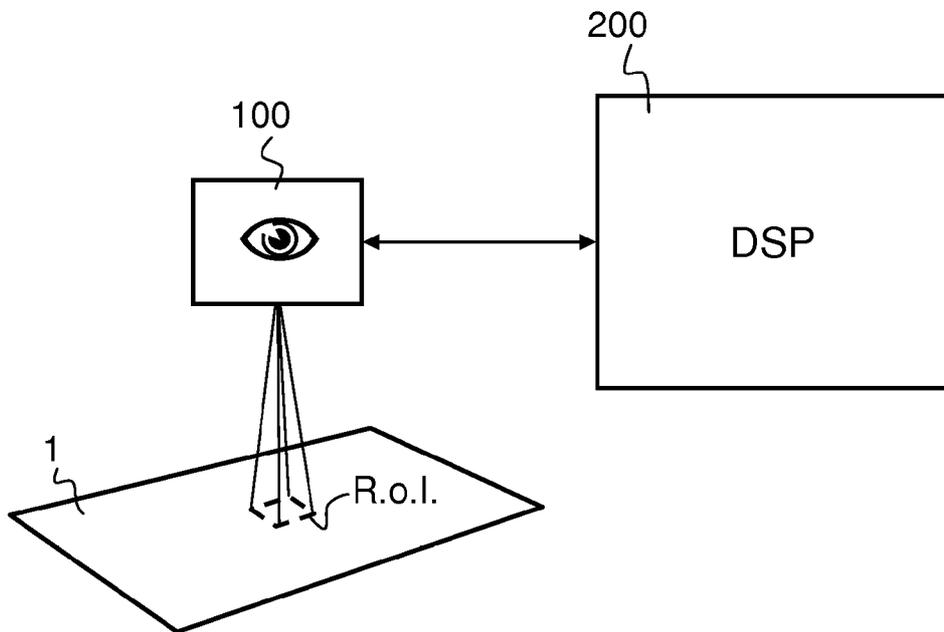


图 12