

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2014 年 8 月 14 日 (14.08.2014)



(10) 国际公布号
WO 2014/121573 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06T 7/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号:
PCT/CN2013/077101
- (22) 国际申请日:
2013 年 6 月 9 日 (09.06.2013)
- (25) 申请语言:
中文
- (26) 公布语言:
中文
- (30) 优先权:
201310047546.8 2013 年 2 月 6 日 (06.02.2013) CN
- (71) 申请人: 华中科技大学 (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。
- (72) 发明人: 张旭明 (ZHANG, Xuming); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。詹轶 (ZHAN, Yi); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。吴意 (WU, Yi); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。丁明跃 (DING, Mingyue); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。尹周平 (YIN, Zhouping); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。王瑜辉 (WANG, Yuhui); 中国湖北省武汉

洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。熊有伦 (XIONG, Youlun); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(74) 代理人: 华中科技大学专利中心 (PATENT AGENCY CENTER OF HUST); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号东一楼 340, Hubei 430074 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[见续页]

(54) Title: SUSAN EDGE DETECTION METHOD AND SYSTEM BASED ON NON-LOCAL MEAN

(54) 发明名称: 基于非局部均值的 SUSAN 边缘检测方法及系统

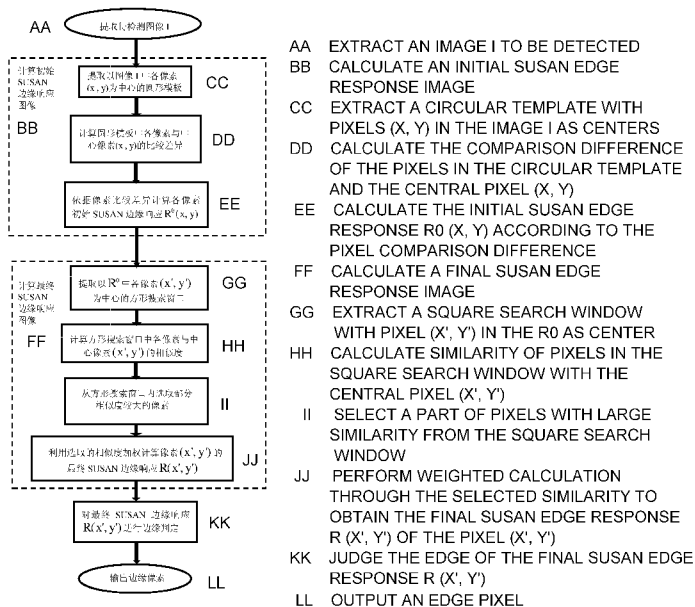


图 1 / Fig. 1

(57) Abstract: Disclosed is an SUSAN edge detection method based on non-local mean, comprising: a step of calculating an initial SUSAN edge response image: for each pixel (x, y) in the image, taking a circular template Ψ with same as center, depicting the pixel comparison difference of each pixel in the Ψ using an image block, and calculating the initial SUSAN edge response R^0 of the (x, y) according to the pixel comparison difference; a step of calculating a final SUSAN edge response image: for each pixel (x', y') in the R^0 , searching a neighborhood with structure similarity with same, and calculating the similarity weighted average of the initial SUSAN edge response to obtain the final SUSAN edge response R of the (x', y'); and a step of judging edge pixel: if the R (x', y') corresponding to the pixel (x', y') is larger than a threshold, the pixel is an edge pixel, if not, the pixel is a non-edge pixel. Also provided in the present invention is a system for achieving the method. By adopting the SUSAN edge detection method, the non-local mean is applied to SUSAN edge detection, in order to greatly improve the noise immunity to obtain higher edge detection precision.

(57) 摘要:

[见续页]

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, **本国际公布:**
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, — 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。
TG)。

本发明公开了一种基于非局部均值的 SUSAN 边缘检测方法, 包括: 计算初始 SUSAN 边缘响应图像的步骤: 对于图像中的每一像素 (x, y) , 取以其为中心的圆形模板 Ψ , 采用图像块刻画 Ψ 中的每个像素与 (x, y) 的像素比较差异, 依据像素比较差异计算 (x, y) 的初始 SUSAN 边缘响应 R^0 ; 计算最终 SUSAN 边缘响应图像的步骤: 对于 R^0 中的每一像素 (x', y') , 搜索与其具有结构相似性的邻域, 通过计算初始 SUSAN 边缘响应的相似度加权平均得到 (x', y') 的最终 SUSAN 边缘响应 R ; 边缘像素判定步骤: 若像素 (x', y') 对应的 $R(x', y')$ 大于阈值, 则其为边缘像素, 否则为非边缘像素。本发明还提供了实现上述方法的系统。本发明将非局部均值用于 SUSAN 边缘检测, 大大提高抗噪性, 获得更高的边缘检测精度。

基于非局部均值的 SUSAN 边缘检测方法及系统

【技术领域】

本发明属于图像边缘检测领域，具体涉及一种基于非局部均值的苏珊（SUSAN）边缘检测方法及系统。

【背景技术】

边缘检测是模式识别、图像分割及图像场景分析的基础，被广泛应用于生物医学工程和工业自动化等领域。然而，实际应用中的图像在获取和传输过程中不可避免会受到噪声的污染，噪声的引入对精确边缘检测产生了极大的挑战，研究具有优异抗噪性能的边缘检测方法，对促进其实际应用具有重要理论价值和实际意义。

边缘检测作为图像处理和计算机视觉中的一个热点问题，已得到了深入研究。边缘检测的目的是标识数字图像中亮度变化明显的点。目前，研究者提出了多种边缘检测方法，如索贝尔（Sobel）检测方法、Prewitt 检测方法、坎尼（Canny）检测方法、基于伽伯（Gabor）的检测方法及 SUSAN 边缘检测方法等。其中，SUSAN 边缘检测方法较上述其它方法具有更好的边缘检测能力，因此受到广泛关注。然而，传统 SUSAN 边缘检测方法利用单个像素灰度差来刻画像素差异，易受到噪声干扰的影响，大大影响了其抗噪性能。为提高 SUSAN 边缘检测方法的抗噪能力，一些改进方法被提出，如双模板 SUSAN 方法和自适应 SUSAN 边缘检测方法(ASED) 等，这些方法在图像中噪声污染程度较大时难以取得满意的检测结果。为克服上述不足，研究者提出了改进的 SUSAN 检测方法(ISED)，它利用优化约束条件方程来计算 SUSAN 响应，该方法能较好地抑制图像中椒盐噪声的不利影响，但对噪声尤其是高斯噪声的抑制能力不足。

【发明内容】

本发明的目的在于提供一种基于非局部均值的 SUSAN 边缘检测方法，

该方法对噪声具有较优的抑制能力，在噪声污染图像中可获得精度较高的边缘检测结果。

本发明的另一目的在于提供一种基于非局部均值的 SUSAN 边缘检测系统，该系统对噪声具有较优的抑制能力，在噪声污染图像中可获得精度较高的边缘检测结果。

为实现上述发明目的，本发明提供一种 SUSAN 边缘检测方法，具体包括下述步骤：

第 1 步 计算待检测图像 I 的初始 SUSAN 边缘响应图像，其过程为：

(1.1) 对于待检测图像 I 中的每一个像素(x, y)，提取以其为中心的圆形模板 Ψ ；

(1.2) 利用式 I 分别计算各圆形模板 Ψ 中的每个像素(p, q)与所在圆形模板的中心像素(x, y)之间的像素比较差异 $c(x, y, p, q)$ ：

$$c(x, y, p, q) = \exp\left(-\left(\frac{\Phi * \|I_{P(p,q)} - I_{P(x,y)}\|_2^2}{T^2}\right)^3\right) \quad \text{式 I}$$

其中， $P(p, q)$ 为以圆形模板 Ψ 中像素(p, q)为中心的图像块， $P(x, y)$ 为以圆形模板 Ψ 中像素(x, y)为中心的图像块，图像块 $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 大小相同， N_p 为图像块 $P(p, q)$ 包含的像素个数， $I_{P(p,q)}$ 和 $I_{P(x,y)}$ 分别表示图像块 $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 中各像素的灰度值，*表示卷积， $\|\cdot\|_2$ 表示求欧氏距离，T 为边缘检测阈值， $20 \leq T \leq 35$ ， Φ 为与图像块 $P(p, q)$ 大小相同的自适应核；

(1.3) 依据像素比较差异 $c(x, y, p, q)$ 利用式 II 计算各圆形模板的中心像素的初始 SUSAN 边缘响应 $R^0(x, y)$ ，即得初始 SUSAN 边缘响应图像 R^0 ：

$$R^0(x, y) = \begin{cases} R_l - n(x, y) & n(x, y) - R_l < 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \text{式 II}$$

其中， $n(x, y) = \sum_{(p,q) \in \Psi} c(x, y, p, q)$ ， $R_l = \frac{3}{4} n_{\max}(x, y)$ ， $n_{\max}(x, y)$ 为圆形模板中

各像素对应的 $n(x, y)$ 最大值;

第2步 计算待检测图像 I 的最终 SUSAN 边缘响应图像, 其过程为:

(2.1) 对于初始 SUSAN 边缘响应图像 R^0 中的每一非零初始 SUSAN 边缘响应值的像素 (x', y') , 提取以该点为中心的方形搜索窗口 Ω ;

(2.2) 利用式 III 分别计算各方形搜索窗口 Ω 中的每个像素 (p', q') 与所在方形搜索窗口的中心像素 (x', y') 之间的相似度 $\omega(x', y', p', q')$:

$$\omega(x', y', p', q') = \frac{1}{Z(x', y')} \exp\left(-\frac{G^* \|R_{P(p', q')}^0 - R_{P(x', y')}^0\|_2^2}{h_{NLM}}\right) \quad \text{式 III}$$

其中, $Z(x', y')$ 为使得 $\sum_{(p', q') \in \Omega} \omega(x', y', p', q') = 1$ 的归一化常量, h_{NLM} 为衰减系数, $R_{P(p', q')}^0$ 和 $R_{P(x', y')}^0$ 分别为图像块 $P_{(p', q')}$ 和 $P_{(x', y')}$ 中各像素的灰度值, $P_{(p', q')}$ 为 SUSAN 边缘响应图像 R^0 中以 (p', q') 为中心的图像块, $P_{(x', y')}$ 为 SUSAN 边缘响应图像 R^0 中以 (x', y') 为中心的图像块, G 为高斯核;

(2.3) 分别从各方形搜索窗口 Ω 内选取部分相似度较大的像素;

(2.4) 利用式 IV 分别计算各方形搜索窗口 Ω 的中心像素 (x', y') 的最终 SUSAN 边缘响应 $R(x', y')$, K 为步骤 (2.3) 选取的像素数, (i_n, j_n) 为步骤 (2.3) 选取的第 n 个像素;

$$R(x', y') = \frac{\sum_{n=1}^K \omega(x', y', i_n, j_n) R^0(i_n, j_n)}{\sum_{n=1}^K \omega(x', y', i_n, j_n)} \quad \text{式 IV}$$

第3步 若各方形搜索窗口 Ω 的中心像素 (x', y') 对应的最终 SUSAN 边缘响应 $R(x', y')$ 大于预先设定的边缘判定阈值 T_R , 则判定像素 (x', y') 为边缘像素, 否则像素 (x', y') 为非边缘像素。

进一步地, 在计算初始 SUSAN 边缘响应图像之前还对待检测图像 I 滤波。

进一步地, 所述步骤 (2.3) 选取相似度较大的 20~30 个像素。

为实现上述发明目的,本发明提供一种 SUSAN 边缘检测系统,包括:

第一模块,用于计算待检测图像 I 的初始 SUSAN 边缘响应图像,其包括以下子模块:

第 1.1 子模块,用于对于待检测图像 I 中的每一个像素(x, y),提取以其为中心的圆形模板 Ψ ;

第 1.2 子模块,用于利用式 I 分别计算各圆形模板 Ψ 中的每个像素(p, q)与所在圆形模板的中心像素(x, y)之间的像素比较差异 $c(x, y, p, q)$:

$$c(x, y, p, q) = \exp\left(-\left(\frac{\Phi * \|I_{P(p, q)} - I_{P(x, y)}\|_2^2}{T^2}\right)^3\right) \quad \text{式 I}$$

其中, $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 分别为以圆形模板 Ψ 中像素(p, q)和(x, y)为中心的图像块,图像块 $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 大小相同, N_p 为图像块 $P(p, q)$ 包含的像素个数, $I_{P(p, q)}$ 和 $I_{P(x, y)}$ 分别表示图像块 $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 中各像素的灰度值, * 表示卷积, $\|\cdot\|_2$ 表示求欧氏距离,边缘检测阈值 $20 \leq T \leq 35$, Φ 为与图像块 $P(p, q)$ 大小相同的自适应核;

第 1.3 子模块,用于依据像素比较差异利用式 II 计算各圆形模板的中心像素的初始 SUSAN 边缘响应 $R^0(x, y)$, 即得初始 SUSAN 边缘响应图像 R^0 :

$$R^0(x, y) = \begin{cases} R_l - n(x, y) & n(x, y) - R_l < 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \text{式 II}$$

其中, $n(x, y) = \sum_{(p, q) \in \Psi} c(x, y, p, q)$, $R_l = \frac{3}{4} n_{\max}(x, y)$, $n_{\max}(x, y)$ 为圆形模板中各像素对应的 $n(x, y)$ 最大值;

第二模块,用于计算待检测图像 I 的最终 SUSAN 边缘响应图像,其包括以下子模块:

第 2.1 子模块,用于对于初始 SUSAN 边缘响应图像 R^0 中的每一非零初始 SUSAN 边缘响应值的像素(x', y'), 提取以该点为中心的方形搜索窗口 Ω ;

第 2.2 子模块, 用于利用式 III 分别计算各方形搜索窗口 Ω 中的每个像素 (p', q') 与所在方形搜索窗口的中心像素 (x', y') 之间的相似度 $\omega(x', y', p', q')$:

$$\omega(x', y', p', q') = \frac{1}{Z(x', y')} \exp\left(-\frac{G^* \|R_{P(p', q')}^0 - R_{P(x', y')}^0\|_2^2}{h_{NLM}}\right) \quad \text{式 III}$$

其中, $Z(x', y')$ 为使得 $\sum_{(p', q') \in \Omega} \omega(x', y', p', q') = 1$ 的归一化常量, h_{NLM} 为衰减系数, $R_{P(p', q')}^0$ 和 $R_{P(x', y')}^0$ 分别为图像块 $P_{(p', q')}$ 和 $P_{(x', y')}$ 中各像素的灰度值, $P_{(p', q')}$ 和 $P_{(x', y')}$ 分别为边缘响应图像 R^0 中以 (p', q') 和 (x', y') 为中心的图像块, G 为高斯核;

第 2.3 子模块, 用于分别从各方形搜索窗口 Ω 内选取部分相似度较大的像素;

第 2.4 子模块, 用于利用式 IV 分别计算各方形搜索窗口 Ω 的中心像素 (x', y') 的最终 SUSAN 边缘响应 $R(x', y')$, K 为第 2.3 子模块选取的像素数, (i_n, j_n) 为第 2.3 子模块选取的第 n 个像素;

$$R(x', y') = \frac{\sum_{n=1}^K \omega(x', y', i_n, j_n) R^0(i_n, j_n)}{\sum_{n=1}^K \omega(x', y', i_n, j_n)} \quad \text{式 IV}$$

第三模块, 用于判定若各方形搜索窗口 Ω 的中心像素 (x', y') 对应的最终 SUSAN 边缘响应 $R(x', y')$ 大于预定边缘判定阈值 T_r , 则判定像素 (x', y') 为边缘像素, 否则像素 (x', y') 为非边缘像素。

进一步地, 还包括第三模块, 用于在计算初始 SUSAN 边缘响应图像之前还对待检测图像 I 滤波。

进一步地, 所述第 2.3 子模块中选取相似度较大的 20~30。

本发明的技术效果体现在:

(1) 本发明基于非局部均值方法, 利用图像块来刻画图像中两像素的差异, 并结合自适应核来计算像素间的比较差异, 由此确定图像中像素的初始 SUSAN 边缘响应, 克服了现有 SUSAN 边缘检测方法中基于单个像素灰度值的比较差异计算方法易受噪声影响的不足, 可更好地适应图像中不同像素对应局部图像结构的差异, 为准确计算图像初始 SUSAN 边缘响应奠定了基础;

(2) 在初始边缘响应图中, 对于其中每一非零初始 SUSAN 边缘响应值的像素, 搜索与其具有结构相似性的邻域像素, 并利用初始 SUSAN 边缘响应的相似度加权平均来获得最终 SUSAN 边缘响应, 可有效降低仅利用初始边缘响应进行边缘检测易引入的孤立噪声, 为准确计算最终边缘响应提供了基础。

大量实验证明, 本发明提供的 SUSAN 边缘检测方法及系统有效克服噪声尤其是高斯噪声的不利影响, 获得较现有各类 SUSAN 边缘检测方法更优的抗噪性能和更高的边缘检测精度。

【附图说明】

图 1 是本发明基于非局部均值的 SUSAN 边缘检测方法的流程图;

图 2 是实例 1 中应用本发明的检测结果以及与其它方法的检测结果对比示意图, 其中, 图 2a 为源图像, 图 2b 为加 $\sigma=30$ 的高斯白噪声图像, 图 2c 为真实的边缘图像, 图 2d 为采用 Gabor 检测方法得到的边缘图像, 图 2e 为采用 Canny 检测方法得到的边缘图像, 图 2f 为采用 TSED 检测方法得到的边缘图像, 图 2g 为采用 ISED 检测方法得到的边缘图像, 图 2h 为采用 ASED 检测方法得到的边缘图像, 图 2i 为采用本发明方法检测得到的边缘图像;

图 3 是实例 2 中应用本发明的检测结果以及与其它方法的检测结果对比示意图, 其中, 图 3a 为源图像, 图 3b 为采用 TSED 检测得到的边缘图像, 图 3c 为采用 ISED 检测得到的边缘图像, 图 3d 为采用 ASED 检测得到

的边缘图像，图 3e 为采用本发明方法检测得到的边缘图像。

【具体实施方式】

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

如图 1 所示，本发明基于非局部均值的 SUSAN 边缘检测方法包括以下步骤：

第 1 步 计算待检测图像 I 的初始 SUSAN 边缘响应图像 R^0 ；

本步骤基于非局部均值方法，利用图像块来刻画图像中两像素的差异，并结合自适应核来计算像素间的比较差异，由此确定图像中像素的初始 SUSAN 边缘响应，其过程具体为：

(1.1) 对于待检测图像 I 的像素 (x, y) ，取以其为中心的圆形模板 Ψ ，圆形模板 Ψ 的半径为 3~4 个像素。

(1.2) 选取圆形模板 Ψ 中的像素 (p, q) ，计算该像素与圆形模板 Ψ 的中心像素 (x, y) 之间的像素比较差异 $c(x, y, p, q)$ ：

$$c(x, y, p, q) = \exp\left(-\left(\frac{\Phi * \|I_{P(p,q)} - I_{P(x,y)}\|_2^2}{T^2}\right)^3\right) = \exp\left(-\left(\frac{\sum_{n_p=1}^{N_p} (I_{P(p,q)}^{n_p} - I_{P(x,y)}^{n_p})^2 \Phi^{n_p}}{T^2 \sum_{n_p=1}^{N_p} \Phi^{n_p}}\right)^3\right)$$

其中， $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 分别为以圆形模板 Ψ 中像素 (p, q) 和 (x, y) 为中心的图像块，这两图像块尺寸相同，图像块的边长小于圆形模板直径即可，一般取 1~2 个像素； $I_{P(p,q)}$ 和 $I_{P(x,y)}$ 分别表示图像块 $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 中各像素的灰度值； N_p 为图像块 $P(p, q)$ 包含的像素个数， $I_{P(p,q)}^{n_p}$ 和 $I_{P(x,y)}^{n_p}$ 分别为图像块 $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 中第 n_p 个像素的灰度值；边缘检测阈值 T 的取值范围为 20~35； $\exp$ 为指数函数， $*$ 表示卷积， $\|\cdot\|_2$ 表示欧氏距离； Φ 为与图像块 $P(p, q)$ 大小相同的自适应核， Φ^{n_p} 为 Φ 中的第 n_p 个元素，采用下式计算：

$$\Phi^{n_p} = \frac{1}{(C_1 t d^{n_p} + 1)^2}$$

其中，常量 $C_1 > 1$ ， d^{n_p} 为圆形模板中心像素 (x, y) 与第 n_p 个像素间的笛卡尔距离， $t = \max(\Gamma - C_2, 0)$ ， $\Gamma = \max(|\xi_{P(p,q)} / \xi_{P(x,y)} - 1|, |\theta_{P(p,q)} / \theta_{P(x,y)} - 1|)$ ，这里 $\max(a, b)$ 为取 a 和 b 两个数中的较大者，相似度判别阈值 $0 \leq C_2 \leq 1$ ， $\xi_{P(p,q)}$ 和 $\xi_{P(x,y)}$ 分别为图像块 $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 所包含像素灰度值的平均值， $\theta_{P(p,q)}$ 和 $\theta_{P(x,y)}$ 分别为图像块 $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 所包含像素灰度值的标准偏差， $||$ 表示求绝对值。

(1.3) 计算圆形模板中心像素的初始 SUSAN 边缘响应 $R^0(x, y)$ ，其计算公式如下：

$$R^0(x, y) = \begin{cases} R_t - n(x, y) & n(x, y) - R_t < 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中， $n(x, y) = \sum_{(p,q) \in \Psi} c(x, y, p, q)$ ， $R_t = \frac{3}{4} n_{\max}(x, y)$ ， $n_{\max}(x, y)$ 为圆形模板中

各像素对应的 $n(x, y)$ 最大值。

重复步骤 (1.1) ~ (1.3)，计算得到图像中所有像素的初始 SUSAN 边缘响应，即得初始 SUSAN 边缘响应图像 R^0 。

第 2 步 计算待检测图像 I 的最终边缘响应图像 R 。

本步骤是在初始 SUSAN 边缘响应图像中，对于其中每一非零初始 SUSAN 边缘响应值的像素，搜索与其具有结构相似性的邻域像素，利用其初始 SUSAN 边缘响应的相似度加权平均来获得最终 SUSAN 边缘响应，其过程如下：

(2.1) 选取初始 SUSAN 边缘响应图像 R^0 中的非零初始 SUSAN 边缘响应值的像素 (x', y') ，取以该点为中心的方形搜索窗口 Ω ，搜索窗口 Ω 的大小与精度要求相关，一般边长为 3~13 个像素，若精度要求较高，则优选 11~13；

(2.2) 对搜索窗口 Ω 内的像素 (p', q') ，按下式计算其与该窗口的中心

像素 (x', y') 之间的相似度 $\omega(x', y', p', q')$:

$$\omega(x', y', p', q') = \frac{1}{Z(x', y')} \exp\left(-\frac{G^* \|R_{P(p', q')}^0 - R_{P(x', y')}^0\|_2^2}{h_{NLM}}\right)$$

其中 $Z(x', y')$ 为使得 $\sum_{(p', q') \in \Omega} \omega(x', y', p', q') = 1$ 的归一化常量, h_{NLM} 为衰减系数; $P_{(p', q')}$ 和 $P_{(x', y')}$ 分别为边缘响应图像 R^0 中以 (p', q') 和 (x', y') 为中心的图像块, 这两图像块尺寸相同, 图像块的边长小于搜索窗口边长即可, 优选 3~5 个像素; $R_{P(p', q')}^0$ 和 $R_{P(x', y')}^0$ 分别为图像块 $P_{(p', q')}$ 和 $P_{(x', y')}$ 中各像素的灰度值, G 为高斯核。

(2.3) 将方形搜索窗口 Ω 内所有像素按相似度从高到低的顺序排列, 排序后像素构成的集合为:

$$O(x', y') = \{(i_1, j_1), \dots, (i_n, j_n), \dots, (i_N, j_N) | \omega(x', y', i_1, j_1) \dots \geq \omega(x', y', i_n, j_n) \geq \dots \geq \omega(x', y', i_N, j_N)\}$$

N 为初始 SUSAN 边缘响应图像 R^0 中的非零始 SUSAN 边缘响应值的像素数;

选取 $O(x', y')$ 中相似度较大的前 K 个像素, 这里只选取相似度较大的部分像素, 是因为较小相似度像素会引入噪声。如果 K 过小则不能起到很好的平均效果, K 值过大则引入噪声造成最终边缘响应的不准确, 推荐 K 取值为 20~30, 不局限于此, 可根据实际情况调整。

(2.4) 利用相似度加权计算方形搜索窗口 Ω 中心像素 (x', y') 的最终响应 $R(x', y')$, 其计算公式如下:

$$R(x', y') = \frac{\sum_{n=1}^K \omega(x', y', i_n, j_n) R^0(i_n, j_n)}{\sum_{n=1}^K \omega(x', y', i_n, j_n)}$$

(i_n, j_n) 为步骤 (2.3) 选取的第 n 个像素;

重复上述步骤 (2.1) ~ (2.4), 计算出初始 SUSAN 边缘响应图像中所

有像素的最终 SUSAN 边缘响应，即得最终 SUSAN 边缘响应图像 R。

第 3 步 对最终 SUSAN 边缘响应图像 R 进行边缘判定得到边缘像素，具体实现方式为：若像素 (x', y') 的 $R(x', y')$ 大于边缘判定阈值 T_R ，则视其为边缘像素，否则为非边缘像素。边缘判定阈值 T_R 为经验值，一般取 2~4。

作为优化，可在计算初始 SUSAN 边缘响应图像之前先对待检测图像 I 进行滤波，其作用是初步平滑图像，有利于一定程度的抑制噪声，增加边缘检测的准确度，可采用高斯滤波、中值滤波和伽伯（Gabor）滤波等，优选高斯滤波。

实例1：

如图 2 所示，采用自然图像进行测试，该实例中使用的参数为：自然图像所加的噪声为高斯噪声，圆形模板 Ψ 的半径为 3 个像素，计算像素对比差异 c 时所有图像块大小为 5×5 ，方形模板 Ω 的边长为 11×11 ，计算像素的相似度 ω 时所用图像块的大小为 7×7 ，高斯核 $G = \{0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0201, 0.0201, 0.0201, 0.0201, 0.0068, 0.0068, 0.0201, 0.0572, 0.0572, 0.0572, 0.0201, 0.0068, 0.0068, 0.0201, 0.0572, 0.0572, 0.0572, 0.0201, 0.0068, 0.0068, 0.0201, 0.0572, 0.0572, 0.0572, 0.0201, 0.0068, 0.0068, 0.0201, 0.0201, 0.0201, 0.0201, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068\}$ ， $K=25$ ， $C_1=25$ ， $C_2=0.25$ ，衰减参数 $h_{NLM} = 900 + 10 \times (\sigma - 30)$ ，边缘检测阈值 $T=20$ ，边缘判定阈值 $T_R=2.5$ ，这里 σ 为估计的噪声方差， $\sigma=30$ ，其通过估计检测图像 I 中每个像素点的伪残差来近似获得。该实例还分别使用现有基于 Gabor 的检测方法，基于 Canny 的检测方法，传统的 SUSAN 边缘检测方法（TSED），改进的 SUSAN 边缘检测方法（ISED），自适应 SUSAN 边缘检测方法（ASED）和本发明基于非局部均值的 SUSAN 边缘检测方法（NLMSED）对同一高斯噪声图像进行边缘检测，根据检测结果计算边缘图像的品质因数（FOM: figure of merit）和性能测度（P: performance measure）并进行对比。

其中，图 2a 为源图像，图 2b 为加 $\sigma=30$ 的高斯白噪声图像，图 2c 为真实的边缘图像，经 Gabor 检测得到的边缘图像如图 2d 所示，经 Canny 检测得到的边缘图像如图 2e 所示，经 TSED 检测得到的边缘图像如图 2f 所示，经 ISED 检测得到的边缘图像如图 2g 所示，经 ASSED 检测得到的边缘图像如图 2h 所示，经 NLMSSED 检测得到的边缘图像如图 2i 所示。将品质因数 (FOM) 和性能测度 (P) 作为评价边缘检测质量的测度，经测得其各项参数如表 1 所示。

表 1 各种边缘检测方法在大象图像上的边缘检测结果定量比较

检测算子 评价侧度	Gabor	Canny	TSED	ISED	ASSED	NLMSSED
FOM	0.3725	0.4979	0.5060	0.5486	0.5538	0.7513
P	0.1286	0.1624	0.1147	0.1142	0.1160	0.1801

从表 1 可以看出本发明在边缘检测的精度和抗噪性能相较于其他传统方法，以及相关的改进方法，都有大幅度的提高，从而证明了本发明的有效性。

实例 2:

如图 3 所示，采用 CT 图像进行测试，该实例中使用的参数为：图像中原有噪声可认为是高斯噪声，圆形模板 Ψ 的半径为 4 个像素，计算像素对比差异 c 时所有图像块大小为 5×5 ，方形搜索窗口 Ω 的边长为 11×11 ，计算像素的相似度 ω 时所用图像块的大小为 7×7 ，高斯核 $G = \{0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0201, 0.0201, 0.0201, 0.0201, 0.0068, 0.0068, 0.0201, 0.0572, 0.0572, 0.0572, 0.0201, 0.0068, 0.0068, 0.0201, 0.0572, 0.0572, 0.0572, 0.0201, 0.0068, 0.0068, 0.0201, 0.0572, 0.0572, 0.0572, 0.0201, 0.0068, 0.0068, 0.0201, 0.0201, 0.0201, 0.0201, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068, 0.0068\}$ ， $K=25$ ， $C_1=25$ ， $C_2=0.25$ ，衰减参数 $h_{\text{NLM}} = 900 + 10 \times (\sigma - 30)$ ，边缘检测阈值 $T=15$ ，边缘判定阈值 $T_r=2.5$ ，这里 σ 为估计的噪声方差， $\sigma=5$ ，其通过估计检测图像 I 中每个像素点的伪

残差来近似获得。该实例分别使用现有基于 Gabor 的检测方法，基于 Canny 的检测方法，传统的 SUSAN 边缘检测方法（TSED），改进的 SUSAN 边缘检测方法（ISED），自适应 SUSAN 边缘检测方法（ASED）和本发明基于非局部均值的 SUSAN 边缘检测方法（NLMSSED）对同一高斯噪声图像进行边缘检测。

其中图 3a 为源噪声图像，经 TSED 检测得到的边缘图像如图 3b 所示，经 ISED 检测得到的边缘图像如图 3c 所示，经 ASED 检测得到的边缘图像如图 3d 所示，经本发明 NLMSSED 检测得到的边缘图像如图 3e 所示。从图 3 可看出，本发明 NLMSSED 方法获得的边缘更清晰、连续性好，残留的噪声少，抗噪声性优于与其它比较方法。

权 利 要 求

1、一种 SUSAN 边缘检测方法，包括下述步骤：

第 1 步 计算待检测图像 I 的初始 SUSAN 边缘响应图像，其过程为：

(1.1) 对于待检测图像 I 中的每一个像素(x, y)，提取以其为中心的圆形模板 Ψ ；

(1.2) 利用式 I 分别计算各圆形模板 Ψ 中的每个像素(p, q)与所在圆形模板的中心像素(x, y)之间的像素比较差异 $c(x, y, p, q)$ ：

$$c(x, y, p, q) = \exp\left(-\left(\frac{\Phi * \|I_{P(p,q)} - I_{P(x,y)}\|_2^2}{T^2}\right)^3\right) \quad \text{式 I}$$

其中， $P(p, q)$ 为以圆形模板 Ψ 中像素(p, q)为中心的图像块， $P(x, y)$ 为以圆形模板 Ψ 中像素(x, y)为中心的图像块，图像块 $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 大小相同， N_p 为图像块 $P(p, q)$ 包含的像素个数， $I_{P(p,q)}$ 和 $I_{P(x,y)}$ 分别表示图像块 $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 中各像素的灰度值，*表示卷积， $\|\cdot\|_2$ 表示求欧氏距离，T 为边缘检测阈值， $20 \leq T \leq 35$ ， Φ 为与图像块 $P(p, q)$ 大小相同的自适应核；

(1.3) 依据像素比较差异 $c(x, y, p, q)$ 利用式 II 计算各圆形模板的中心像素的初始 SUSAN 边缘响应 $R^0(x, y)$ ，即得初始 SUSAN 边缘响应图像 R^0 ：

$$R^0(x, y) = \begin{cases} R_t - n(x, y) & n(x, y) - R_t < 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \text{式 II}$$

其中， $n(x, y) = \sum_{(p,q) \in \Psi} c(x, y, p, q)$ ， $R_t = \frac{3}{4} n_{\max}(x, y)$ ， $n_{\max}(x, y)$ 为圆形模板中各像素对应的 $n(x, y)$ 最大值；

第 2 步 计算待检测图像 I 的最终 SUSAN 边缘响应图像，其过程为：

(2.1) 对于初始 SUSAN 边缘响应图像 R^0 中的每一非零初始 SUSAN 边缘响应值的像素(x', y')，提取以该点为中心的方形搜索窗口 Ω ；

(2.2) 利用式 III 分别计算各方形搜索窗口 Ω 中的每个像素(p', q')与所

在方形搜索窗口的中心像素 (x', y') 之间的相似度 $\omega(x', y', p', q')$:

$$\omega(x', y', p', q') = \frac{1}{Z(x', y')} \exp\left(-\frac{G^* \|R_{P(p', q')}^0 - R_{P(x', y')}^0\|_2^2}{h_{NLM}}\right) \quad \text{式 III}$$

其中, $Z(x', y')$ 为使得 $\sum_{(p', q') \in \Omega} \omega(x', y', p', q') = 1$ 的归一化常量, h_{NLM} 为衰减系数, $R_{P(p', q')}^0$ 和 $R_{P(x', y')}^0$ 分别为图像块 $P_{(p', q')}$ 和 $P_{(x', y')}$ 中各像素的灰度值, $P_{(p', q')}$ 为 SUSAN 边缘响应图像 R^0 中以 (p', q') 为中心的图像块, $P_{(x', y')}$ 为 SUSAN 边缘响应图像 R^0 中以 (x', y') 为中心的图像块, G 为高斯核;

(2.3) 分别从各方形搜索窗口 Ω 内选取部分相似度较大的像素;

(2.4) 利用式 IV 分别计算各方形搜索窗口 Ω 的中心像素 (x', y') 的最终 SUSAN 边缘响应 $R(x', y')$, K 为步骤 (2.3) 选取的像素数, (i_n, j_n) 为步骤 (2.3) 选取的第 n 个像素;

$$R(x', y') = \frac{\sum_{n=1}^K \omega(x', y', i_n, j_n) R^0(i_n, j_n)}{\sum_{n=1}^K \omega(x', y', i_n, j_n)} \quad \text{式 IV}$$

第 3 步 若各方形搜索窗口 Ω 的中心像素 (x', y') 对应的最终 SUSAN 边缘响应 $R(x', y')$ 大于预先设定的边缘判定阈值 T_R , 则判定像素 (x', y') 为边缘像素, 否则像素 (x', y') 为非边缘像素。

2、根据权利要求 1 所述的 SUSAN 边缘检测方法, 其特征在于, 在计算初始 SUSAN 边缘响应图像之前还对待检测图像 I 滤波。

3、根据权利要求 1 或 2 所述的 SUSAN 边缘检测方法, 其特征在于, 所述步骤 (2.3) 选取相似度较大的 20~30 个像素。

4、一种 SUSAN 边缘检测系统, 包括:

第一模块, 用于计算待检测图像 I 的初始 SUSAN 边缘响应图像, 其包括以下子模块:

第 1.1 子模块, 用于对于待检测图像 I 中的每一个像素 (x, y) , 提取以其

为中心的圆形模板 Ψ ;

第 1.2 子模块, 用于利用式 I 分别计算各圆形模板 Ψ 中的每个像素 (p, q) 与所在圆形模板的中心像素 (x, y) 之间的像素比较差异 $c(x, y, p, q)$:

$$c(x, y, p, q) = \exp\left(-\left(\frac{\Phi * \|I_{P(p,q)} - I_{P(x,y)}\|_2^2}{T^2}\right)^3\right) \quad \text{式 I}$$

其中, $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 分别为以圆形模板 Ψ 中像素 (p, q) 和 (x, y) 为中心的图像块, 图像块 $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 大小相同, N_p 为图像块 $P(p, q)$ 包含的像素个数, $I_{P(p,q)}$ 和 $I_{P(x,y)}$ 分别表示图像块 $P(p, q)$ 和 $P(x, y)$ 中各像素的灰度值, $*$ 表示卷积, $\|\cdot\|_2$ 表示求欧氏距离, 边缘检测阈值 $20 \leq T \leq 35$, Φ 为与图像块 $P(p, q)$ 大小相同的自适应核;

第 1.3 子模块, 用于依据像素比较差异利用式 II 计算各圆形模板的中心像素的初始 SUSAN 边缘响应 $R^0(x, y)$, 即得初始 SUSAN 边缘响应图像 R^0 :

$$R^0(x, y) = \begin{cases} R_l - n(x, y) & n(x, y) - R_l < 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \text{式 II}$$

其中, $n(x, y) = \sum_{(p,q) \in \Psi} c(x, y, p, q)$, $R_l = \frac{3}{4} n_{\max}(x, y)$, $n_{\max}(x, y)$ 为圆形模板中

各像素对应的 $n(x, y)$ 最大值;

第二模块, 用于计算待检测图像 I 的最终 SUSAN 边缘响应图像, 其包括以下子模块:

第 2.1 子模块, 用于对于初始 SUSAN 边缘响应图像 R^0 中的每一非零初始 SUSAN 边缘响应值的像素 (x', y') , 提取以该点为中心的方形搜索窗口 Ω ;

第 2.2 子模块, 用于利用式 III 分别计算各方形搜索窗口 Ω 中的每个像素 (p', q') 与所在方形搜索窗口的中心像素 (x', y') 之间的相似度 $\omega(x', y', p', q')$:

$$\omega(x', y', p', q') = \frac{1}{Z(x', y')} \exp\left(-\frac{G^* \|R_{P(p', q')}^0 - R_{P(x', y')}^0\|_2^2}{h_{NLM}}\right) \quad \text{式 III}$$

其中, $Z(x', y')$ 为使得 $\sum_{(p', q') \in \Omega} \omega(x', y', p', q') = 1$ 的归一化常量, h_{NLM} 为衰减系数, $R_{P(p', q')}^0$ 和 $R_{P(x', y')}^0$ 分别为图像块 $P_{(p', q')}$ 和 $P_{(x', y')}$ 中各像素的灰度值, $P_{(p', q')}$ 和 $P_{(x', y')}$ 分别为边缘响应图像 R^0 中以 (p', q') 和 (x', y') 为中心的图像块, G 为高斯核;

第 2.3 子模块, 用于分别从各方形搜索窗口 Ω 内选取部分相似度较大的像素;

第 2.4 子模块, 用于利用式 IV 分别计算各方形搜索窗口 Ω 的中心像素 (x', y') 的最终 SUSAN 边缘响应 $R(x', y')$, K 为第 2.3 子模块选取的像素数, (i_n, j_n) 为第 2.3 子模块选取的第 n 个像素;

$$R(x', y') = \frac{\sum_{n=1}^K \omega(x', y', i_n, j_n) R^0(i_n, j_n)}{\sum_{n=1}^K \omega(x', y', i_n, j_n)} \quad \text{式 IV}$$

第三模块, 用于判定若各方形搜索窗口 Ω 的中心像素 (x', y') 对应的最终 SUSAN 边缘响应 $R(x', y')$ 大于预定边缘判定阈值 T_R , 则判定像素 (x', y') 为边缘像素, 否则像素 (x', y') 为非边缘像素。

5、根据权利要求 4 所述的 SUSAN 边缘检测系统, 其特征在于, 还包括第三模块, 用于在计算初始 SUSAN 边缘响应图像之前还对待检测图像 I 滤波。

6、根据权利要求 4 或 5 所述的 SUSAN 边缘检测系统, 其特征在于, 所述第 2.3 子模块中选取相似度较大的 20~30 个像素。

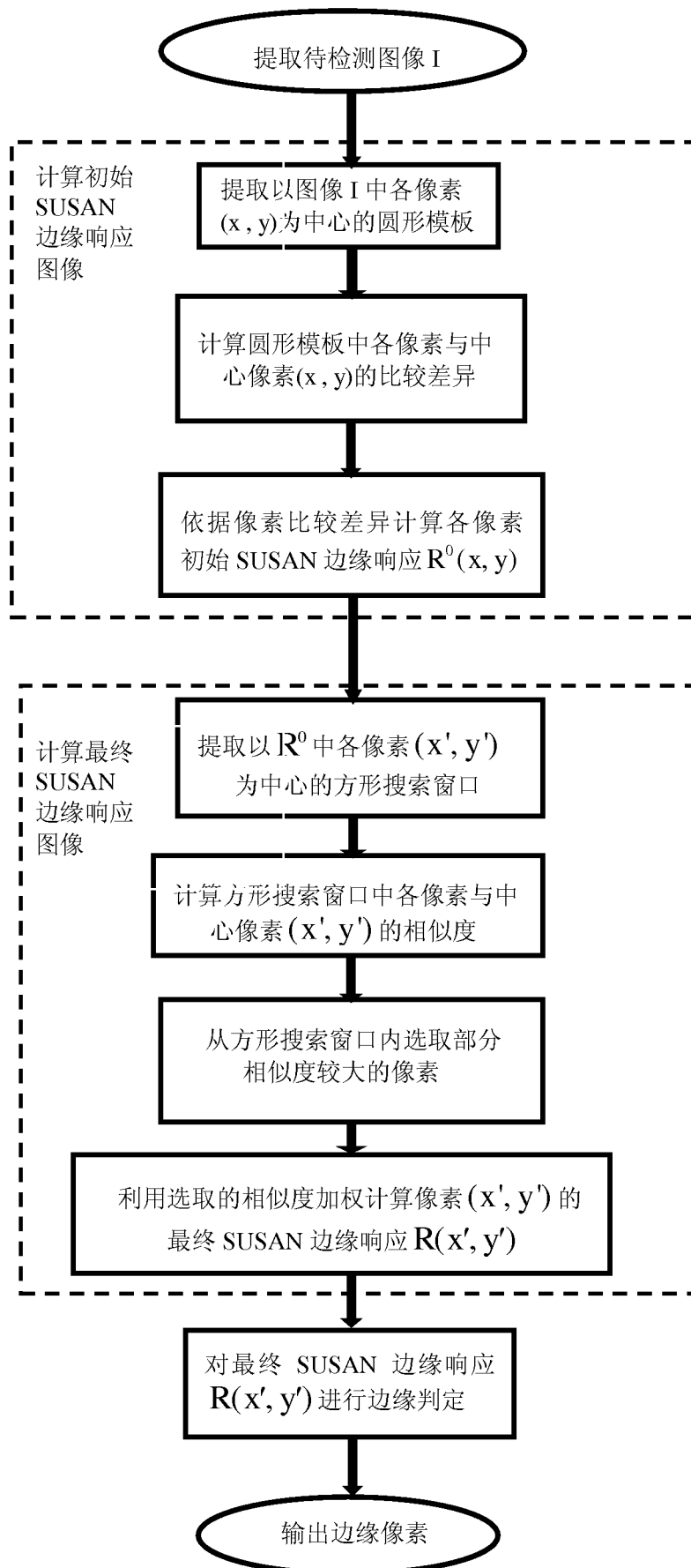


图 1

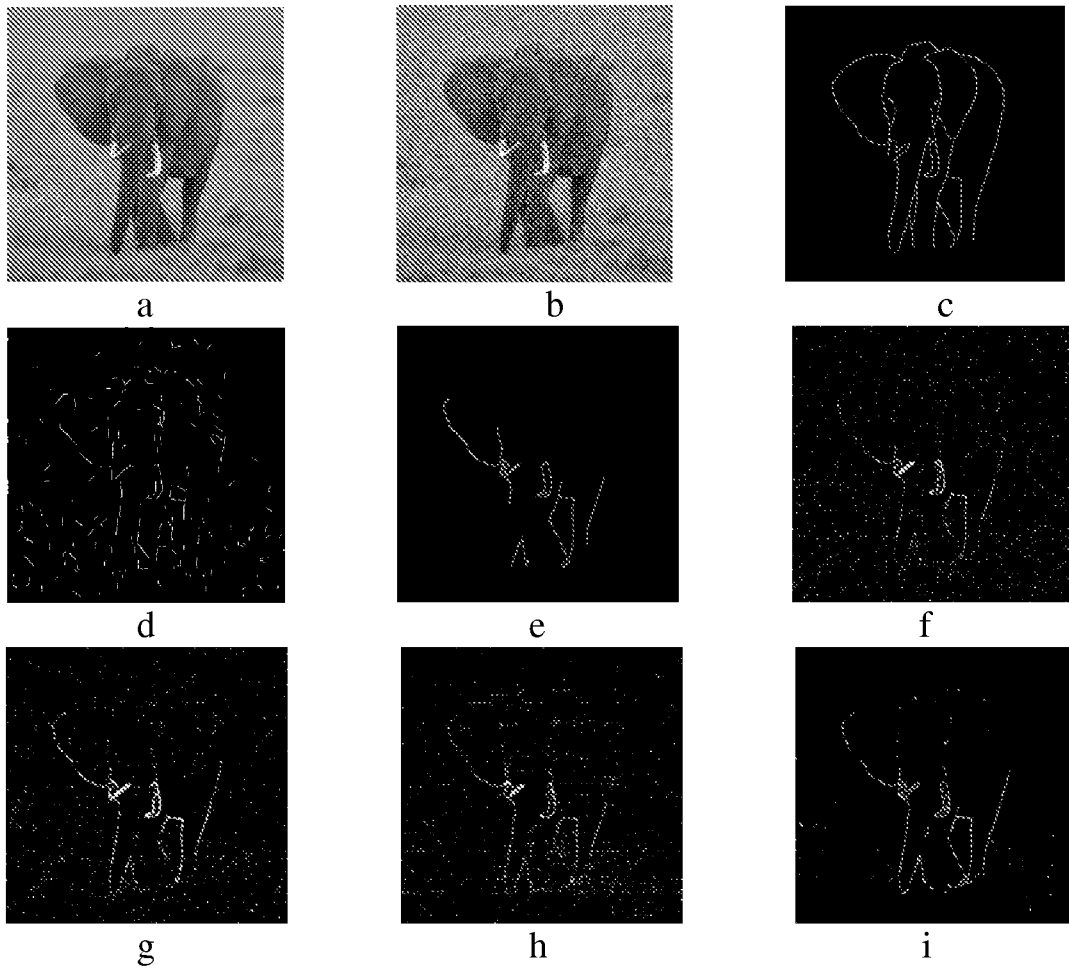


图 2

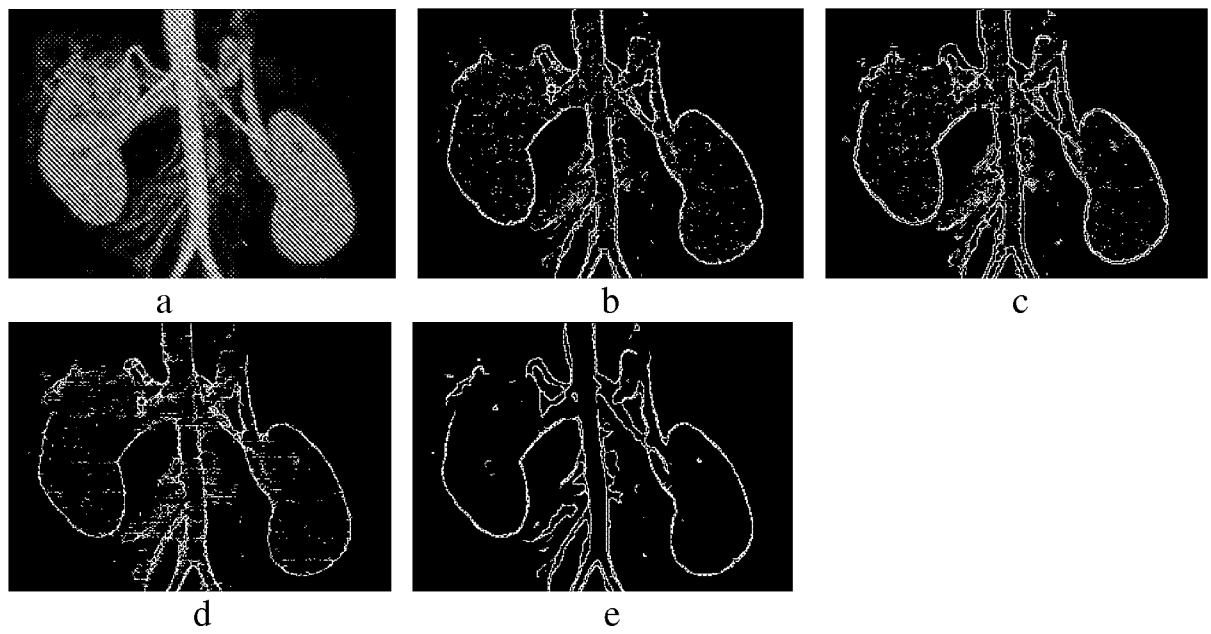


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2013/077101

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 7/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G06T; H04N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: image?, picture?, non w local, mean, susan, respons+, edge?, detec+, pixel

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102663692 A (SHANTOU UNIVERSITY) 12 September 2012 (12.09.2012) claim 1, and description, paragraphs [0010]-[0012]	1-6
A	CN 1686051 A (SHANGHAI JIAOTONG UNIVERSITY) 26 October 2005 (26.10.2005) the whole document	1-6
A	US 2011/0102852 A1 (ZHANG, Yeqing et al.) 05 May 2011 (05.05.2011) the whole document	1-6
A	US 2008/0253678 A1 (LI, Jian-Feng et al.) 16 October 2008 (16.10.2008) the whole document	1-6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 22 October 2013 (22.10.2013)	Date of mailing of the international search report 21 November 2013 (21.11.2013)
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer YUE, Yongjuan Telephone No. (86-10) 62414440

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2013/077101

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102663692 A	12.09.2012	None	
CN 1686051 A	26.10.2005	CN 100382751 C	23.04.2008
CN 102789637 A	21.11.2012	None	
US 2011/0102852 A1	05.05.2011	None	
US 2008/0253678 A1	16.10.2008	US 7856150 B2	21.12.2010

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2013/077101

A. 主题的分类

G06T 7/00 (2006.01) i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: G06T; H04N

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 图像, 非局部均值, 苏珊, 响应, 边缘, 检测, 像素; image?, picture?, non w local, mean, susan, respons+, edge?, detec+, pixel

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 102663692 A (汕头大学) 12.9 月 2012 (12.09.2012) 权利要求 1、说明书第[0010]-[0012]段	1-6
A	CN 1686051 A (上海交通大学) 26.10 月 2005 (26.10.2005) 全文	1-6
A	CN 102789637 A (北方工业大学) 21.11 月 2012 (21.11.2012) 全文	1-6
A	US 2011/0102852 A1 (ZHANG, Yeqing et al.) 05.5 月 2011 (05.05.2011) 全文	1-6
A	US 2008/0253678 A1 (LI, Jian-Feng et al.) 16.10 月 2008 (16.10.2008) 全文	1-6

☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

22.10 月 2013 (22.10.2013)

国际检索报告邮寄日期

21.11 月 2013 (21.11.2013)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:

中华人民共和国国家知识产权局

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088

传真号: (86-10)62019451

受权官员

岳永娟

电话号码: (86-10) **62414440**

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2013/077101

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN 102663692 A	12.09.2012	无	
CN 1686051 A	26.10.2005	CN 100382751 C	23.04.2008
CN 102789637 A	21.11.2012	无	
US 2011/0102852 A1	05.05.2011	无	
US 2008/0253678 A1	16.10.2008	US 7856150 B2	21.12.2010