



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119648564 A

(43) 申请公布日 2025. 03. 18

(21) 申请号 202411723615.7

(22) 申请日 2024.11.28

(71) 申请人 厦门大学

地址 361000 福建省厦门市思明南路422号

(72) 发明人 赵庆亮 杜奉献 林越峒 薛钧炜

喻欢欢 姚胜兰

(74) 专利代理机构 厦门市首创君合专利事务所

有限公司 35204

专利代理师 李艾华

(51) Int. Cl.

G06T 5/70 (2024.01)

G06T 5/40 (2006.01)

G06F 17/15 (2006.01)

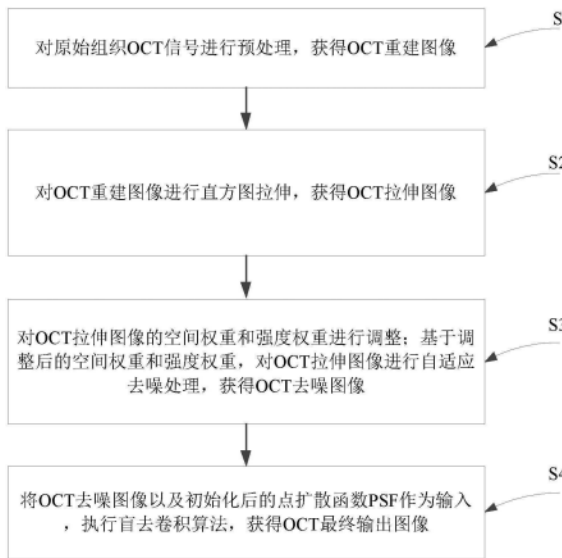
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法及系统

(57) 摘要

本发明涉及一种自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法及系统,包括:对原始OCT信号进行预处理,包括去背景噪声、波数校准、光谱整形和色散补偿,以获得OCT重建图像;通过直方图拉伸增强对比度,对OCT拉伸图像的空间权重和强度权重进行调整,对图像进行自适应去噪;使用盲去卷积算法进一步优化图像,迭代更新估计的图像和点扩散函数PSF,获得到高清晰度的OCT重建图像。本发明通过自适应加权双边滤波和盲去卷积技术,实现了对OCT图像的高效去噪和细节保留,从而获得高清晰度的重建图像。



1. 一种自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1,对原始组织OCT信号进行预处理,获得OCT重建图像;

S2,对OCT重建图像进行直方图拉伸,获得OCT拉伸图像;

S3,对OCT拉伸图像的空间权重和强度权重进行调整;基于调整后的空间权重和强度权重,对OCT拉伸图像进行自适应去噪处理,获得OCT去噪图像;

S4,将OCT去噪图像以及初始化后的点扩散函数PSF作为输入,执行盲去卷积算法,获得OCT最终输出图像。

2. 根据权利要求1所述的自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法,其特征在于,S1中,所述进行预处理,具体包括:

对原始组织OCT信号进行去背景噪声、波数校准、光谱整形和色散补偿。

3. 根据权利要求1所述的自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法,其特征在于,S2中,所述进行直方图拉伸,具体包括:

从OCT重建图像中确定最低非零强度值 L'_{\min} 和最高非零强度值 L'_{\max} ,应用线性强度变换将OCT重建图像中每个像素的原始强度值 $I(x,y)$ 映射到一个新的像素点值 $p(i,j)$;其中,线性强度变换公式如下:

$$p(i,j) = \frac{(I(x,y) - L_{\min}) \times (L'_{\max} - L'_{\min})}{L_{\max} - L_{\min}} + L'_{\min}$$

其中, x 为图像的横坐标,表示像素在水平方向上的位置; y 为图像的纵坐标,表示像素在垂直方向上的位置; i 为变换后图像的横坐标, j 为变换后图像的纵坐标; L_{\max} 和 L_{\min} 分别表示原始OCT重建图像中强度值的最大值和最小值;

对线性强度变换处理后的图像中每个像素点的像素值进行计数,累计每个强度级别的像素数量以完成直方图拉伸。

4. 根据权利要求1所述的自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法,其特征在于S3中,所述强度权重是由强度核计算得出的实际权重,所述强度核用于衡量图像中两个像素之间强度差异,强度权重为强度核的输出值;强度权重的计算公式如下:

$$\sigma_r(m,n) = \beta \mu_p$$

$$w_r(m,n) = e^{-\frac{(I(m,n)-I(k,l))^2}{2\sigma_r(m,n)^2}}$$

其中, β 表示调整强度标准差大小的系数; μ_p 代表局部均值; m 和 n 表示当前中心像素的坐标横和纵坐标,是权重计算的核心参考点; $\sigma_r(m,n)$ 表示基于中心点 (m,n) 的局部强度标准差; $w_r(m,n)$ 表示强度权重; k 和 l 表示邻域窗口内遍历的某个像素的横纵坐标; $I(m,n)$ 表示当前正在处理的中心像素点强度值; $I(k,l)$ 表示邻域中某点的强度值。

5. 根据权利要求4所述的自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法,其特征在于,S3中,所述空间权重是由空间核计算得出的实际权重,所述空间核用于衡量图像中两个像素在空间位置上的相似度的函数,空间权重表示空间核的输出值;先利用局部熵值 $H[I_p]$ 计算出 σ_s 空间标准差后,再计算出空间权重,公式如下:

$$H[I_p] = - \sum_{i=0}^{B_N} p(i) \log_2 p(i)$$

$$\sigma_s = \sigma_s^{\min} + (\sigma_s^{\max} - \sigma_s^{\min}) \frac{H[I_p] - \zeta}{\max(H[I]) - \zeta}$$

$$w_s(u, v) = e^{-\frac{(u-v)^2 + (s-t)^2}{2\sigma_s(u, v)^2}}$$

其中, $p(i)$ 表示在邻域内像素值 i 出现的概率; B_N 表示邻域内像素值的总数; σ_s^{\max} 和 σ_s^{\min} 分别表示预设的空间标准差的最大和最小值; ζ 表示一个预设的阈值, 用于调节空间核大小的变化范围; $H[I_p]$ 表示图像某个局部区域的熵; I 表示图像强度值; I_p 表示图像中某个局部区域的像素强度值; $w_s(u, v)$ 表示空间权重, u 和 v 分别表示中心像素的横坐标和纵坐标; s 和 t 表示表示邻域窗口内遍历的某个像素的横坐标和纵坐标; (u, v) 表示基于中心点 (u, v) 的局部空间标准差。

6. 根据权利要求5所述的自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法, 其特征在于, S3中, 所述自适应去噪处理基于计算出的强度权重 w_r 和空间权重 w_s , 对直方图拉伸后的OCT重建图像进行双边滤波, 滤波操作会在图像上逐个像素进行滑动, 直到整张图像被处理完, 获得保留图像边缘和细节信息的OCT重建图像, 具体公式为:

$$w_h(i, j) = w_r(i, j) \cdot w_s(i, j)$$

$$I_b = (1 - w_h) \cdot \text{BF}[I, \sigma_s^{\min}, \sigma_r] + w_h \cdot \text{BF}[I, \sigma_s^{\max}, \sigma_r]$$

其中, i 表示直方图拉伸变换后图像的横坐标, j 表示变换后图像的纵坐标; I_b 表示最终的滤波输出图像; $\text{BF}[I, \sigma_s^{\min}, \sigma_r]$ 表示使用特定的空间标准差大小和强度标准差大小进行双边滤波操作; σ_s^{\min} 和 σ_s^{\max} 分别表示空间标准差的最小值和最大值, 用于针对图像的不同特征进行优化; 权重 w_h 为根据强度权重和空间权重计算得出的最终权重。

7. 根据权利要求1所述的自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法, 其特征在于 S4中, 所述执行盲去卷积算法, 用于估计OCT去噪图像和优化点扩散函数PSF, 计算公式如下:

$$I_{\text{out}}[k+1] = I_{\text{out}}[k] + \lambda(I_{\text{obs}} - H * I_{\text{out}}[k]) * H^\dagger$$

其中, $I_{\text{out}}[k]$ 表示在第 k 次迭代后的图像估计; I_{obs} 表示观测到的去噪后的OCT重建图像; H 表示估计的点扩散函数PSF; H^\dagger 表示点扩散函数PSF的逆或伪逆; λ 表示迭代步长, 用于控制更新速度。

8. 一种自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理系统, 其特征在于, 包括:

预处理模块, 用于对原始组织OCT信号进行预处理, 获得OCT重建图像;

直方图拉伸模块, 用于对OCT重建图像进行直方图拉伸, 获得OCT拉伸图像;

自适应去噪模块, 用于对OCT拉伸图像的空间权重和强度权重进行调整; 基于调整后的空间权重和强度权重, 用于对OCT拉伸图像进行自适应去噪处理, 获得OCT去噪图像;

盲去卷积模块, 用于将OCT去噪图像以及初始化后的点扩散函数PSF作为输入, 执行盲去卷积算法, 获得OCT最终输出图像。

一种自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及OCT图像处理领域,具体涉及一种自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法。

背景技术

[0002] 点扩散函数(Point Spread Function,PSF)描述了一个理想的点光源通过光学系统后在成像平面上形成的光斑分布,它用于评估和改善成像系统的质量,是图像复原、去模糊处理以及光学系统设计与校正中的关键工具。

[0003] 盲去卷积是一种图像处理技术,它在不知道或不完全知道点扩散函数(PSF)的情况下,从模糊的图像中恢复出清晰的原始图像。与传统去卷积方法需要已知精确的PSF不同,盲去卷积算法能够同时估计PSF和恢复图像内容,这使得它特别适用于那些难以直接测量PSF的实际应用场景,如天文观测、显微成像以及一般的图像恢复任务。通过这种方法,可以有效提升图像的质量和细节清晰度。

[0004] 在医学影像领域,光学相干断层扫描(OCT)是一种重要的非侵入性成像技术,OCT成像能够提供高分辨率的三维组织结构图像。然而,由于成像过程中光的相干性,OCT图像常常受到散斑噪声的影响。散斑噪声是一种由成像过程中的相干性散射引起的随机噪声,它会显著降低图像的对比度和清晰度,影响医生对病变组织的精确识别和诊断。

发明内容

[0005] 为了解决上述问题,本发明提出了一种自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像,通过结合自适应双边滤波与盲去卷积技术,动态调整滤波器的空间核和强度核参数,有效提升OCT图像的处理质量,增强图像的结构和细节完整性,为临床OCT成像提供技术支持。

[0006] 具体方案如下:

[0007] 一方面,一种自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0008] S1,对原始组织OCT信号进行预处理,获得OCT重建图像;

[0009] S2,对OCT重建图像进行直方图拉伸,获得OCT拉伸图像;

[0010] S3,对OCT拉伸图像的空间权重和强度权重进行调整;基于调整后的空间权重和强度权重,对OCT拉伸图像进行自适应去噪处理,获得OCT去噪图像;

[0011] S4,将OCT去噪图像以及初始化后的点扩散函数PSF作为输入,执行盲去卷积算法,获得OCT最终输出图像。

[0012] 进一步的,所述进行预处理,具体包括:

[0013] 对原始组织OCT信号进行去背景噪声、波数校准、光谱整形和色散补偿。

[0014] 进一步的,所述进行直方图拉伸,具体包括:

[0015] 从OCT重建图像中确定最低非零强度值 L'_{\min} 和最高非零强度值 L'_{\max} ,应用线性强度变换将OCT重建图像中每个像素的原始强度值 $I(x,y)$ 映射到一个新的像素点值 $p(i,j)$;

其中,线性强度变换公式如下:

$$[0016] \quad p(i, j) = \frac{(I(x, y) - L_{\min}) \times (L'_{\max} - L'_{\min})}{L_{\max} - L_{\min}} + L'_{\min}$$

[0017] 其中, x 为图像的横坐标, 表示像素在水平方向上的位置; y 为图像的纵坐标, 表示像素在垂直方向上的位置; i 为变换后图像的横坐标, j 为变换后图像的纵坐标; L_{\max} 和 L_{\min} 分别表示原始OCT重建图像中强度值的最大值和最小值;

[0018] 对线性强度变换处理后的图像中每个像素点的像素值进行计数, 累计每个强度级别的像素数量以完成直方图拉伸。

[0019] 进一步的, 所述强度权重是由强度核计算得出的实际权重, 所述强度核用于衡量图像中两个像素之间强度差异, 强度权重为强度核的输出值; 强度权重的计算公式如下:

$$[0020] \quad \sigma_r(m, n) = \beta \mu_p$$

$$[0021] \quad w_r(m, n) = e^{-\frac{(I(m, n) - I(k, l))^2}{2\sigma_r(m, n)^2}}$$

[0022] 其中, β 表示调整强度标准差大小的系数; μ_p 代表局部均值; m 和 n 表示当前中心像素的坐标横和纵坐标, 是权重计算的核心参考点; $\sigma_r(m, n)$ 表示基于中心点 (m, n) 的局部强度标准差; $w_r(m, n)$ 表示强度权重; k 和 l 表示邻域窗口内遍历的某个像素的横纵坐标; $I(m, n)$ 表示当前正在处理的中心像素点强度值; $I(k, l)$ 表示邻域中某点的强度值。

[0023] 进一步的, 所述空间权重是由空间核计算得出的实际权重, 所述空间核用于衡量图像中两个像素在空间位置上的相似度的函数, 空间权重表示空间核的输出值; 先利用局部熵值 $H[I_p]$ 计算出 σ_s 空间标准差后, 再计算出空间权重, 公式如下:

$$H[I_p] = - \sum_{i=0}^{B_N} p(i) \log_2 p(i)$$

$$[0024] \quad \sigma_s = \sigma_s^{\min} + (\sigma_s^{\max} - \sigma_s^{\min}) \frac{H[I_p] - \zeta}{\max(H[I]) - \zeta}$$

$$w_s(u, v) = e^{-\frac{(u-v)^2 + (s-t)^2}{2\sigma_s(u, v)^2}}$$

[0025] 其中, $p(i)$ 表示在邻域内像素值 i 出现的概率; B_N 表示邻域内像素值的总数; σ_s^{\max} 和 σ_s^{\min} 分别表示预设的空间标准差的最大和最小值; ζ 表示一个预设的阈值, 用于调节空间核大小的变化范围; $H[I_p]$ 表示图像某个局部区域的熵; I 表示图像的强度值; I_p 表示图像中某个局部区域的像素强度值; $w_s(u, v)$ 表示空间权重, u 和 v 分别表示中心像素的横坐标和纵坐标; s 和 t 表示表示邻域窗口内遍历的某个像素的横坐标和纵坐标; (u, v) 表示基于中心点 (u, v) 的局部空间标准差。

[0026] 进一步的, 所述自适应去噪处理基于计算出的强度权重 w_r 和空间权重 w_s , 对直方图拉伸后的OCT重建图像进行双边滤波, 滤波操作会在图像上逐个像素进行滑动, 直到整张图像被处理完, 获得保留图像边缘和细节信息的OCT重建图像, 具体公式为:

$$[0027] \quad w_h(i, j) = w_r(i, j) \cdot w_s(i, j)$$

$$[0028] \quad I_b = (1 - w_h) \cdot BF[I, \sigma_s^{\min}, \sigma_r] + w_h \cdot BF[I, \sigma_s^{\max}, \sigma_r]$$

[0029] 其中, i 表示直方图拉伸变换后图像的横坐标, j 表示变换后图像的纵坐标; I_b 表示最终的滤波输出图像; $\text{BF}[I, \sigma_s^{\min}, \sigma_r]$ 表示使用特定的空间标准差大小和强度标准差大小进行双边滤波操作; σ_s^{\min} 和 σ_s^{\max} 分别表示空间标准差的最小值和最大值,用于针对图像的不同特征进行优化;权重 w_h 为根据强度权重和空间权重计算得出的最终权重。

[0030] 进一步的,所述执行盲去卷积算法,用于估计OCT去噪图像和优化点扩散函数PSF,计算公式如下:

$$[0031] \quad I_{\text{out}}[k+1] = I_{\text{out}}[k] + \lambda(I_{\text{obs}} - H * I_{\text{out}}[k]) * H^\dagger$$

[0032] 其中, $I_{\text{out}}[k]$ 表示在第 k 次迭代后的图像估计; I_{obs} 表示观测到的去噪后的OCT重建图像; H 表示估计的点扩散函数PSF; H^\dagger 表示点扩散函数PSF的逆或伪逆; λ 表示迭代步长,用于控制更新速度。

[0033] 另一方面,一种自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理系统,其特征在于,包括:

[0034] 预处理模块,用于对原始组织OCT信号进行预处理,获得OCT重建图像;

[0035] 直方图拉伸模块,用于对OCT重建图像进行直方图拉伸,获得OCT拉伸图像;

[0036] 自适应去噪模块,用于对OCT拉伸图像的空间权重和强度权重进行调整;基于调整后的空间权重和强度权重,用于对OCT拉伸图像进行自适应去噪处理,获得OCT去噪图像;

[0037] 盲去卷积模块,用于将OCT去噪图像以及初始化后的点扩散函数PSF作为输入,执行盲去卷积算法,获得OCT最终输出图像。

[0038] 本发明采用如上技术方案,并具有有益效果:

[0039] (1) 本发明通过自适应加权双边滤波技术,本发明能够有效去除OCT图像中的散斑噪声和其他高斯白噪声,显著提升图像的对比度和清晰度;

[0040] (2) 本发明利用直方图拉伸和局部统计特性调整空间权重及强度权重,在去噪过程中保留了重要的边缘和细节信息,增强了图像的视觉效果和诊断价值;

[0041] (3) 本发明结合盲去卷积算法,优化了点扩散函数PSF,并通过迭代更新估计出原始未模糊的图像,最终获得高质量、高分辨率的OCT重建图像,有助于更准确的医学分析。

附图说明

[0042] 图1为本发明实施例的自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理流程图;

[0043] 图2为本发明实施例的自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法实施示意图;

[0044] 图3为本发明实施例的皮肤OCT噪声图像和处理后图像;

[0045] 图4为本发明实施例的胶带OCT噪声图像和处理后图像;

[0046] 图5为本发明实施例的自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法系统图。

具体实施方式

[0047] 下面结合实施例及附图对本发明作进一步详细的描述,但本发明的实施方式不限于此。

[0048] 一方面,如图1和图2所示,本发明一种自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理

方法,包括以下步骤。

[0049] S1,对原始组织OCT信号进行预处理,获得OCT重建图像。

[0050] 具体的,所述对原始组织OCT信号进行预处理,具体包括:

[0051] 对原始组织OCT信号进行去背景噪声、波数校准、光谱整形和色散补偿。

[0052] 具体的,OCT图像常受到多种噪声的影响,其中最主要的是散斑噪声,该噪声因多路反射和散射效应而产生;此外,OCT图像还可能受到激光强度噪声、光电子射击噪声和电子设备产生的热噪声等影响,这些噪声通常被认为是高斯白噪声,与散斑噪声相比影响较小,可以忽略不计,因此本实施例中,定义OCT图像 I^* 如下:

$$[0053] \quad I^* = N_s \cdot I + N_w$$

[0054] 其中, I 表示无噪声图像, N_s 表示散斑噪声, N_w 表示高斯白噪声;鉴于高斯白噪声相对于散斑噪声的影响较小,提出一种简化模型将OCT图像建模为:

$$[0055] \quad I^* = N_s \cdot I$$

[0056] 提出将乘性噪声转换为加性噪声的方法,即通过对OCT图像进行对数变换,如下:

$$[0057] \quad \log(I^*) = \log(N_s) + \log(I)$$

[0058] 变换后,噪声模型接近加性模型,使得噪声处理更为简单。

[0059] S2,对OCT重建图像进行直方图拉伸,获得OCT拉伸图像。

[0060] 具体的,所述进行直方图拉伸,具体包括:

[0061] 从OCT重建图像中确定最低非零强度值 L'_{\min} 和最高非零强度值 L'_{\max} ,应用线性强度变换将OCT重建图像中每个像素的原始强度值 $I(x, y)$ 映射到一个新的像素点值 $p(i, j)$;其中,线性强度变换公式如下:

$$[0062] \quad p(i, j) = \frac{(I(x, y) - L_{\min}) \times (L'_{\max} - L'_{\min})}{L_{\max} - L_{\min}} + L'_{\min}$$

[0063] 其中, x 为图像的横坐标,表示像素在水平方向上的位置; y 为图像的纵坐标,表示像素在垂直方向上的位置; i 为变换后图像的横坐标, j 为变换后图像的纵坐标; L_{\max} 和 L_{\min} 分别表示原始OCT重建图像中强度值的最大值和最小值;

[0064] 通过线性强度变换处理后的OCT重建图像具有改善的对比度;随后,对该图像的每个像素值进行计数,累计每个强度级别的像素数量以形成直方图,其中预定强度范围(L'_{\max}, L'_{\min})是基于该图像显示或处理要求提前设定的。

[0065] 具体的,在应用线性强度变换之前,对OCT重建图像进行颜色空间转换,将OCT重建图像从RGB颜色空间转换到灰度空间;在输出直方图拉伸后的OCT重建图像之前,将线性强度变换处理后的图像从灰度空间转换回RGB颜色空间。

[0066] 具体的,局部统计特性指局部对比度,局部对比度用于衡量该区域内明暗程度的差异度。对于OCT图像而言,局部对比度可以帮助识别不同组织的边界或特征区域。

[0067] S3,基于局部统计特性,对直方图拉伸后的OCT重建图像的空间权重以及强度权重进行调整;基于调整后的空间权重以及强度权重,对直方图拉伸后的OCT重建图像进行自适应去噪处理,获得去噪后的OCT重建图像。

[0068] 具体的,所述强度权重是由强度核计算得出的实际权重,所述强度核用于衡量图像中两个像素之间强度差异,强度权重为强度核的输出值;强度权重的计算公式如下:

$$[0069] \quad \sigma_r(m, n) = \beta \mu_p$$

$$[0070] \quad w_r(m, n) = e^{-\frac{(I(m, n) - I(k, l))^2}{2\sigma_r(m, n)^2}}$$

[0071] 其中, β 表示调整强度标准差大小的系数; μ_p 代表局部均值; m 和 n 表示当前中心像素的坐标横和纵坐标, 是权重计算的核心参考点; $\sigma_r(m, n)$ 表示基于中心点 (m, n) 的局部强度标准差; $w_r(m, n)$ 表示强度权重; k 和 l 表示邻域窗口内遍历的某个像素的横纵坐标; $I(m, n)$ 表示当前正在处理的中心像素点强度值; $I(k, l)$ 表示邻域中某点的强度值。

[0072] 具体的, 所述空间权重是由空间核计算得出的实际权重, 所述空间核用于衡量图像中两个像素在空间位置上的相似度的函数, 空间权重表示空间核的输出值; 先利用局部熵值 $H[I_p]$ 计算出 σ_s 空间标准差后, 再计算出空间权重, 公式如下:

$$H[I_p] = -\sum_{i=0}^{B_N} p(i) \log_2 p(i)$$

$$[0073] \quad \sigma_s = \sigma_s^{\min} + (\sigma_s^{\max} - \sigma_s^{\min}) \frac{H[I_p] - \zeta}{\max(H[I]) - \zeta}$$

$$w_s(u, v) = e^{-\frac{(u-v)^2 + (s-t)^2}{2\sigma_s(u, v)^2}}$$

[0074] 其中, $p(i)$ 表示在邻域内像素值 i 出现的概率; B_N 表示邻域内像素值的总数; σ_s^{\max} 和 σ_s^{\min} 分别表示预设的空间标准差的最大和最小值; ζ 表示一个预设的阈值, 用于调节空间核大小的变化范围; $H[I_p]$ 表示图像某个局部区域的熵; I 表示图像强度值; I_p 表示图像中某个局部区域的像素强度值; $w_s(u, v)$ 表示空间权重, u 和 v 分别表示中心像素的横坐标和纵坐标; s 和 t 表示表示邻域窗口内遍历的某个像素的横坐标和纵坐标; (u, v) 表示基于中心点 (u, v) 的局部空间标准差。

[0075] 具体的, 所述自适应去噪处理基于计算出的强度权重 w_r 和空间权重 w_s , 对直方图拉伸后的OCT重建图像进行双边滤波, 滤波操作会在图像上逐个像素进行滑动, 直到整张图像被处理完, 获得保留图像边缘和细节信息的OCT重建图像, 具体公式为:

$$[0076] \quad w_h(i, j) = w_r(i, j) \cdot w_s(i, j)$$

$$[0077] \quad I_b = (1 - w_h) \cdot \text{BF}[I, \sigma_s^{\min}, \sigma_r] + w_h \cdot \text{BF}[I, \sigma_s^{\max}, \sigma_r]$$

[0078] 其中, i 表示直方图拉伸变换后图像的横坐标, j 表示变换后图像的纵坐标; I_b 表示最终的滤波输出图像; $\text{BF}[I, \sigma_s^{\min}, \sigma_r]$ 表示使用特定的空间标准差大小和强度标准差大小进行双边滤波操作; σ_s^{\min} 和 σ_s^{\max} 分别表示空间标准差的最小值和最大值, 用于针对图像的不同特征进行优化; 权重 w_h 为根据强度权重和空间权重计算得出的最终权重。

[0079] S4, 将去噪后的OCT重建图像以及初始化后的点扩散函数PSF作为输入, 执行盲去卷积算法, 获得最终OCT重建图像。

[0080] 具体的, 所述执行盲去卷积算法, 用于估计去噪后的OCT重建图像和优化点扩散函数PSF, 计算公式如下:

$$[0081] \quad I_{\text{out}}[k+1] = I_{\text{out}}[k] + \lambda(I_{\text{obs}} - H * I_{\text{out}}[k]) * H^\dagger$$

[0082] 其中, $I_{\text{out}}[k]$ 表示在第 k 次迭代后的图像估计; I_{obs} 表示观测到的去噪后的OCT重建图像; H 表示估计的点扩散函数PSF; H^\dagger 表示点扩散函数PSF的逆或伪逆; λ 表示迭代步长, 用

于控制更新速度。

[0083] 具体的,迭代更新图像和PSF估计,直到满足预定的收敛条件或达到设定的迭代次数,输出反卷积后的图像和优化后的PSF,计算公式如下:

$$[0084] \quad I_{out} = I_{out} \cdot \left(\frac{I_{obs}}{H * I_{out}} * H^{\dagger} \right)$$

[0085] 最后,输出的像素值 I_{out} 对应原图中像素点 $I(x, y)$,输出像素值组成的图像就是本发明的去噪算法的最终OCT重建图像。

[0086] 图3和图4为分别利用该算法对胶带和皮肤的去噪结果。可以看出,本发明的图像去噪方法更好地降低图像中的噪声信号,保护了图像中的重要细节信息。

[0087] 如图5所示,本实施例还公开了一种自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理系统,包括:

[0088] 预处理模块51,对原始组织OCT信号进行预处理,获得OCT重建图像;

[0089] 直方图拉伸模块52,对OCT重建图像进行直方图拉伸,获得OCT拉伸图像;

[0090] 自适应去噪模块53,用于对OCT拉伸图像的空间权重和强度权重进行调整;基于调整后的空间权重和强度权重,对OCT拉伸图像进行自适应去噪处理,获得OCT去噪图像;

[0091] 盲去卷积模块54,用于将OCT去噪图像以及初始化后的点扩散函数PSF作为输入,执行盲去卷积算法,获得OCT最终输出图像。

[0092] 一种自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理系统的具体实现同自适应加权双边滤波反卷积的OCT图像处理方法,本实施例不做重复说明。

[0093] 尽管结合优选实施方案具体展示和介绍了本发明,但所属领域的技术人员应该明白,在不脱离所附权利要求书所限定的本发明的精神和范围内,在形式上和细节上可以对本发明做出各种变化,均为本发明的保护范围。

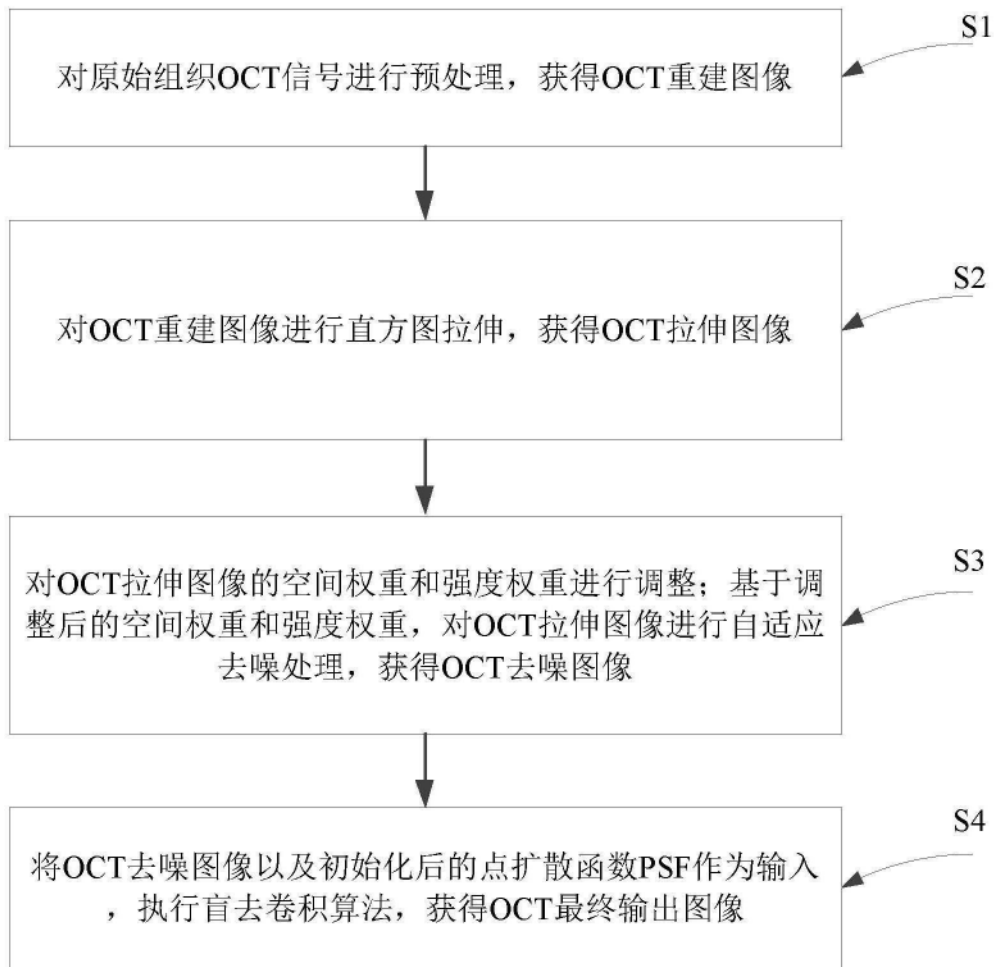


图1

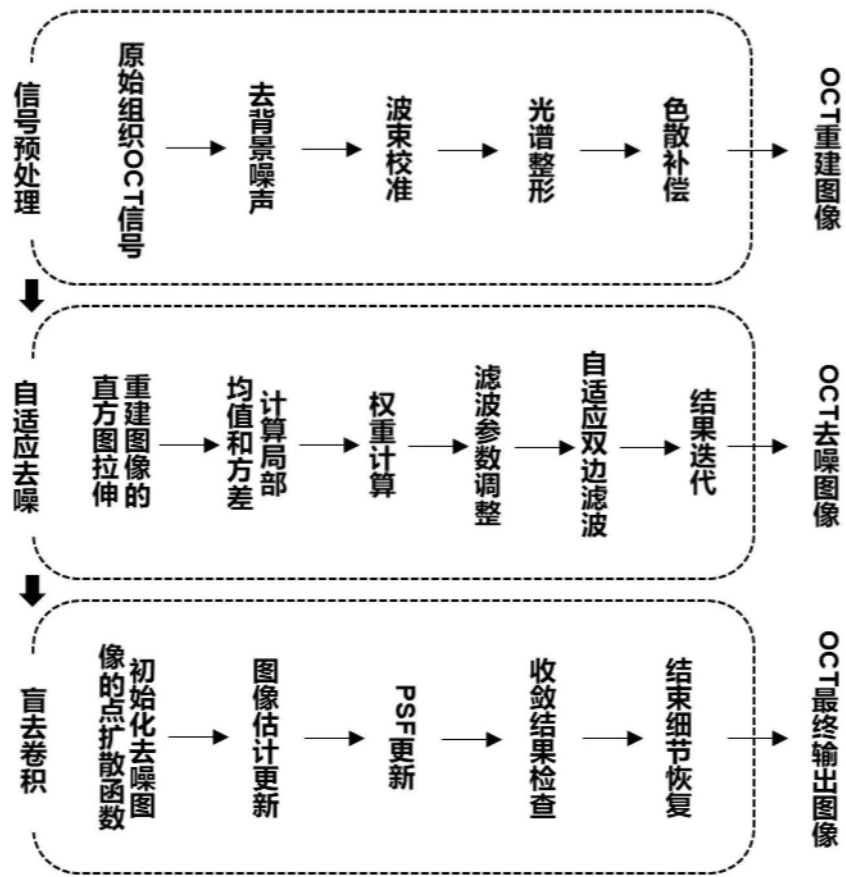


图2

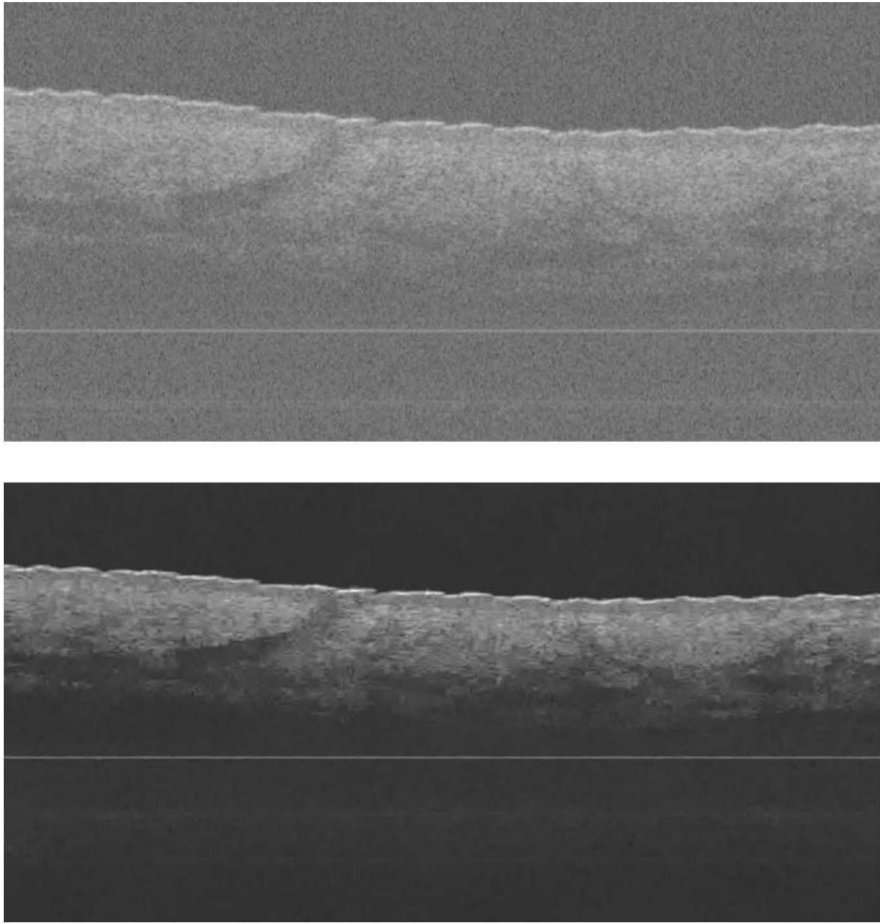


图3

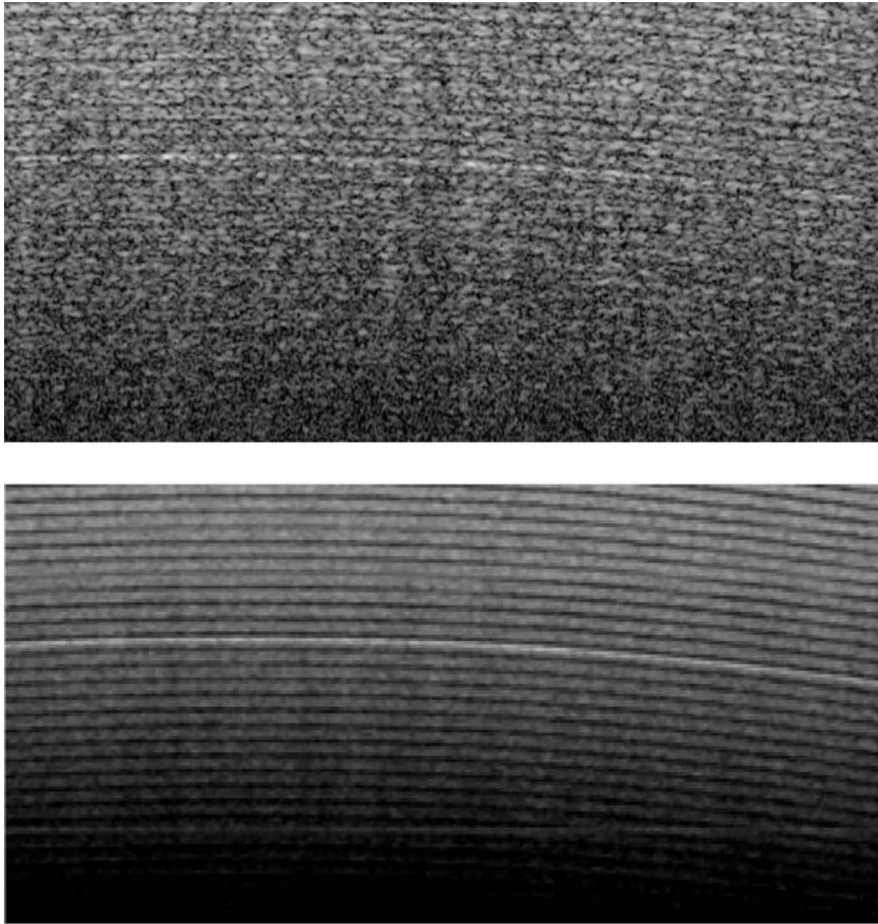


图4

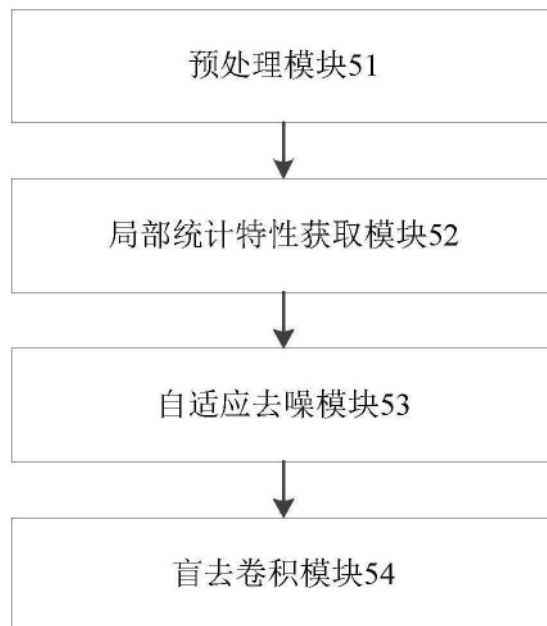


图5