

# 基于 HSI 彩色空间模型的域替换降噪算法

代 煜, 周海锋, 王 萌, 张 生, 金 纬

(南开大学信息技术科学学院, 天津 300071)

**摘 要:** 对彩色数字图像进行降噪处理时, 为兼顾标量处理法的简便性和矢量处理法的有效性, 提出一种对彩色空间域实行替换的方法。采用均值滤波法在 RGB 域内进行滤波处理, 将图像数据从 RGB 域转换到 HSI 域, 用滤波处理后的 H 域、S 域替换含有噪声的 H 域、S 域。对由双目内窥镜采集的实际彩色图像进行实验, 结果证明该域替换法可以结合标量处理和矢量处理的优点, 达到比一般标量处理法及简单矢量处理法更好的降噪效果。

**关键词:** HSI 彩色空间; 域替换; 降噪算法; 低信噪比; 标量矢量结合; 分量处理

## Denoising Algorithm of Domain Replacement Based on HSI Color Space Model

DAI Yu, ZHOU Hai-feng, WANG Meng, ZHANG Sheng, JIN Wei

(College of Information Technical Science, Nankai University, Tianjin 300071, China)

**【Abstract】** Considering the simplicity of scalar processing and the effectiveness of vector processing when doing color digital image noise reduction, a method of domain replacement is proposed in this paper. It processes the image data in RGB space with mean filtering, converts the image data from RGB to HSI, and replaces the original H and S domain with that filtered. The noise in H and S domain is reduced indirectly after these operations. The method is tested with an actual color image captured from a binocular endoscope. According to the results of the test, the method of domain replacement may have both the advantages of scalar processing and vector processing. Compared with common scalar processing and simple vector processing, the method can achieve a better effect.

**【Key words】** HSI color space; domain replacement; denoising algorithm; low Signal Noise Ratio(SNR); combination of scalar and vector; component processing

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.24.004

### 1 概述

彩色数字图像处理, 由于每点色彩分量有 3 个, 不能用传统的灰度图像处理方法直接进行处理。在彩色数字图像处理领域中, 有分量处理法、模型转换法、矢量法等<sup>[1]</sup>。其中, 矢量法越来越受到重视, 因为它没有忽略色彩的任何一个分量, 没有忽略色彩分量间的联系, 并且已经有明确的边界、距离、排序定义, 处理效果也比前两者明显, 所以近年来得到广大关注和发展。此外, 还逐渐发展起了一种“基于物理学的视觉技术”, 也有较好的效果。然而, 矢量法一般具有较高的复杂性, 大多数时候涉及矢量排序等问题, 而基于物理学的视觉技术还会涉及物理计算。在大量复杂彩色图像的处理中, 一开始所提及的 3 种处理法中的前两者仍然有各自的优势所在。分量的标量处理高效简便, 目前技术已经比较成熟, 比如有标量中值、均值、最值等空间滤波, 还有基于傅里叶频率分析的高斯滤波、基于多分辨率分析及小波变换的频率域滤波、基于数学形态学的滤波处理、基于偏微分方程的滤波处理等。矢量处理法效果明显, 有矢量中值滤波、矢量方向滤波等, 但是其效果一般与算法复杂程度成正比。本文考虑到各类图像处理方法的优点, 创新性地结合利用分量标量滤波、简单矢量分量替换这 2 种方法, 提出一种基于 HSI 彩色空间模型的域替换降噪算法, 完成对较低信噪比情况下彩色图像的降噪处理。

### 2 HSI 彩色空间定义

初始的彩色图像分量有 RGB 3 个。这 3 个分量在图像表

达内容上互相平等, 且各自与整个彩色图像没有直观的联系。因此, 要处理彩色图像, 就要对这 3 个分量进行相同的处理, 或者要先明确噪声主要出自的分量, 然后对该分量进行特定处理。

然而, 以上方法中有较多人为操作因素, 并且处理方法及效果都与具体情况有很大关系, 这不符合图像处理的要求。于是本文考虑采用将图像从 RGB 空间转化到 HSI 空间处理的方法。其优点在于在 HSI 空间模型中, H 是色调分量, S 是饱和度分量, I 是亮度分量, 这样有助于把彩色图像信息分成更接近于人视觉感受的分量进行处理。

HSI 分量定义如下<sup>[2]</sup>(RGB 原值均在 0→255 之间):

$H: 0 \rightarrow 360$

其中, 0、360 为红色; 120 为绿色; 240 为蓝色。

$S: 0 \rightarrow 1$

其中, 0 表示颜色为灰度色; 1 表示颜色为纯彩色。

$I: 0 \rightarrow 255$

其中, 0 表示黑色; 255 表示白色; 中间值表示对应不同程度的灰色。

**基金项目:** 国家“863”计划基金资助项目(2009AA044001); 国家创新性实验计划基金资助项目(101005513)

**作者简介:** 代 煜(1981—), 男, 讲师、博士, 主研方向: 医学图像处理, 医疗机器人控制与智能化, 微弱信号检测, 立体视觉技术; 周海锋、王 萌、张 生、金 纬, 本科生

**收稿日期:** 2011-09-28 **E-mail:** daiyu@nankai.edu.cn

以上H值涉及三角函数计算,为了简化步骤、提升速度,采用三角HSI模型,即将H取值范围的定义改为三角形,如式(1)、式(2)以及图1所示。

$$H: 0 \rightarrow 3$$

其中, 0、3为红; 1为绿; 2为蓝; S、I定义值不变。

$$A = \min(R, G, B) \tag{1}$$

$$H = \begin{cases} \frac{G-A}{R-A+G-A} & A=B \\ \frac{B-A}{G-A+B-A} + 1 & A=R \\ \frac{R-A}{B-A+R-A} + 2 & A=G \end{cases} \tag{2}$$

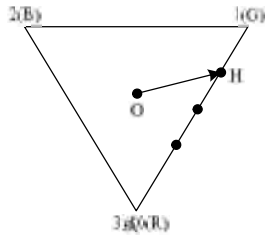


图1 三角H域的域形图

### 3 实际图像处理特点分析

将图像从RGB域转换到HSI域后,根据近似的人类视觉的“彩色恒常性”<sup>[1]</sup>,可知大多单幅实际事物图像的内容,物体形状边缘信息主要在I域,颜色色度信息主要在H域和S域,如图2所示(由于H是环形结构,因此正弦函数化后显示)。



(a)H域



(b)S域



(c)I域

图2 HSI分量图

由此,彩色噪声处理可以分为色度噪声处理和亮度噪声处理。色度噪声处理可以在H域、S域,亮度噪声处理可以在I域。并且,I域和S域的处理可以借助灰度图像处理技术进行<sup>[2]</sup>,而H域由于其特殊的圆环形结构,如图3所示,需要变换后处理。

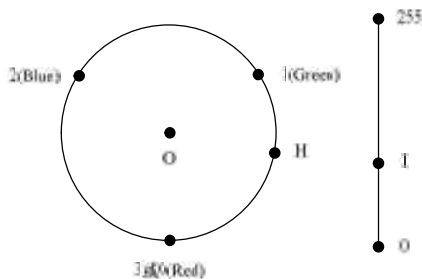


图3 H域及I域的域形对比

另外,由于人眼睛对颜色差的辨别力远低于对亮度的辨别力,在选择处理方法的时候,这2种噪声就有不同的处理选择。色度噪声的处理就可以适当忽略图像边缘细节,而对于亮度噪声的处理就需要尽可能保留细节信息,需要采用例如文献[3]中的处理方法。

### 4 单分量处理法

这里单分量处理是指分量间各归各的处理,即分量间处理互不影响。这样的方法有很多,文献[1-2]都有具体介绍。以下仅提及本文要加以利用的单分量处理法:

(1)RGB分量滤波法:例如可以分别对R、G、B3个分量进行均值滤波,当对3个分量滤波所用的滤波模板相同时,就相当于对(R、G、B)进行的简单矢量滤波处理。

(2)模型转换单分量处理:以转到HSI彩色空间模型为例,用灰度图像处理技术分别对S域和I域处理,对H域则需要在变换后处理。所用变换都是主要用以去除圆形H域与线形滤波域之间的矛盾。以下为2种去除矛盾的方法:

1)文献[4]提出一种平面滤波法,结合S域将H映射到平面直角坐标系中,然后用灰度处理技术对直角坐标进行分量处理。

2)常用的正弦函数法将H值作为正弦函数输入,对输出的函数值进行灰度技术处理,然后反三角函数变换回H值。

### 5 域替换算法

传统彩色图像降噪算法可以分为2类:(1)采用单分量的标量处理法处理一幅图像;(2)采用多分量的矢量处理法处理一幅图像。这2种方法各有优缺点,但是如果只采用一类方法处理,就只能获得一类方法的优势。为了综合利用2种方法的优点,可以设计中间过程将这2种方法联系起来,达到标量矢量结合的目的。域替换算法就是一种综合处理方法。

域替换算法核心思想是,当仅要求降低H域噪声的时候,处理方法并不限于仅对H域数据处理,还可以对RGB、CMY等域内数据处理。对于任一域内处理方法,只要满足“能降低H域的噪声”这个前提条件,即可用来进行H域的降噪。

H域替换算法的全过程如图4所示。

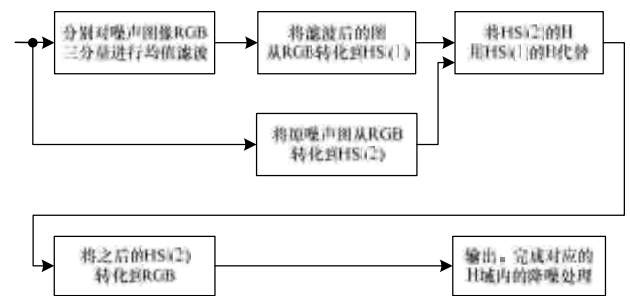


图4 H域替换过程

H域替换算法主要有以下4步:

(1)采用RGB均值滤波、RGB中值滤波、HSI均值滤波之类的一般处理方法对彩色图像进行全域范围的处理,此处以选用RGB均值滤波为例。

(2)将滤波后的图像数据从RGB域转到HSI域,得到HSI(1),同时将带噪声图像也转到HSI域,得到HSI(2)。

(3)用滤波处理后所得的HSI(1)的H域替换噪声图像HSI(2)的H域。

(4)将替换了H域后的HSI(2)转回到RGB域。

在第(1)步中,一般处理方法的处理过程相当于一种间接H域降噪过程。并且,这里在选用一般处理方法类型时,可

以依据先验的特定类噪声图像的实验数据,也可以依据用单幅图像信噪比估计法<sup>[5]</sup>得到的图像信噪比数据。在选择可利用的最佳一般处理后,用域替换法实行域替换降噪。

以上为对 H 域处理的替换法过程,理论上对 S 域、I 域的噪声处理同样可以用此替换法进行。但在实际中,如本文第 3 节中所提,由于人眼对亮度的辨别力高于对色度的辨别力,I 域噪声的处理需要保留边缘细节,而域替换法不能确定保留细节。故 H 域及 S 域适合用替换法,I 域则适合采用灰度图处理技术。本文对于 I 域的处理就采用了全变分灰度处理技术<sup>[3,6-7]</sup>。

需要注意的是,替换法不适合逆用,即不能采用在 HSI 域内滤波而在 RGB 域内替换的方法。原因是在 HSI 域对图像进行不同的滤波,会使其在 RGB 域内的数值产生不同程度的整体偏差,而如果域替换后的 RGB 各分量数值的整体偏差不同,图像就会产生色彩偏移。例如,用 HSI 滤波后饱和度 S 较高的图像的 R 分量替换原图 R 分量,用 HSI 滤波后饱和度 S 较低的图像的 G、B 分量替换原图的 G、B 分量,那么最后虽然达到了 RGB 域内降噪的目的,但是同时也使图像的 R 分量值整体偏高,整幅图像产生了红偏。由此,替换法所替换的域不能是带有 RGB 分量偏向的颜色域。

## 6 实验验证

实验环境: Intel(R)Core(TM)2 Duo CPU P8700 2.53 GHz, 1.99 GB 内存, Windows XP 系统, VS2008 编程平台, 768×576 像素双目内窥镜操作截图(由文献[8]所提出的系统提供)。

实验中 RGB 分量都在 0→255 之间取值,重点实验替换法对 H 域、S 域以及全域的处理效果,对于 I 域则主要参考文献[3]的方法,采用自适应全变分模型去噪。图 5 为实验图像,图 5(a)为初始图。由于高斯噪声可以较好地模拟一些实际随机噪声,因此实验例子选用高斯噪声,对图 5(a)初始 R、G、B 3 个分量分别加入均值为 0、标准差为 62.46 的高斯噪声,加噪后得到图 5(b)。

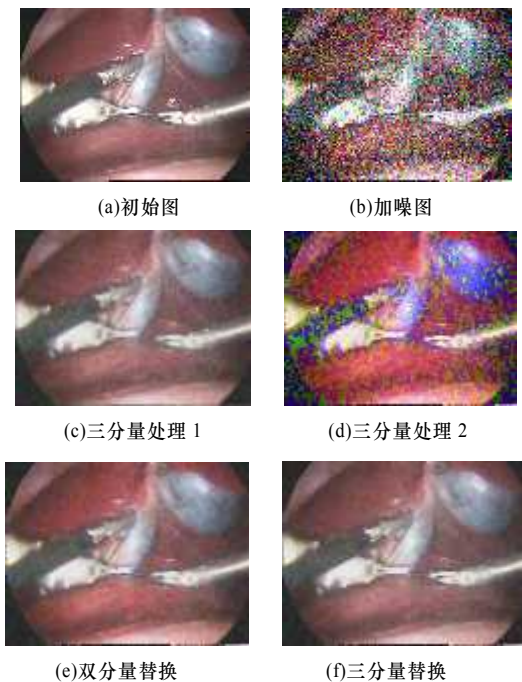


图 5 全域处理图

单个域处理实验:对图 5(b)分别用 RGB 均值法、平面滤波法、正弦函数法处理后的 H 域信噪比如表 1 所示;对图 5(b)

分别用 RGB 均值法、平面滤波法、S 域直接均值法处理后的 S 域信噪比如表 2 所示。

表 1 H 域处理方法对比

H 域处理法	H 域 PSNR/dB	H 域 SNR/dB
图 5(b)加噪图	4.651 1	-1.798 7
三分量处理法: RGB 均值法(11×11 像素)	5.182 8	-1.267 0
双分量处理法: 平面滤波法(9×9 像素)	5.120 2	-1.329 7
单分量处理法: 正弦函数法(13×13 像素)	4.751 8	-1.698 0

表 2 S 域处理方法对比

S 域处理法	S 域 PSNR/dB	S 域 SNR/dB
图 5(b)加噪图	4.598 8	-16.191 3
三分量处理法: RGB 均值法(13×13 像素)	24.200 7	3.410 6
双分量处理法: 平面滤波法(33×33 像素)	23.416 4	2.626 3
单分量处理法: S 域直接均值法(5×5 像素)	6.015 1	-14.775 0

全域处理实验:对图 5(b)直接进行 RGB 分量均值滤波,滤波窗口为 9×9 像素,即采用第 1 种三分量处理法,处理后得到图 5(c);对图 5(b)的 H 域用正弦函数法处理,S 域直接用均值法处理,I 域用自适应全变分模型去噪法处理(各分量在各自域内处理),即采用的第 2 种三分量处理法,处理后得到图 5(d);根据本文替换法思想以及表 1、表 2 的数据,对图 5(b)的 H 域、S 域用平面滤波法替换处理,I 域用自适应全变分模型去噪法处理(一个双分量替换处理加上一个单分量处理),处理后得到图 5(e);对图 5(b)的 H 域用 RGB 均值法(11×11 像素)替换处理,S 域用 RGB 均值法(13×13 像素)替换处理,I 域仍用自适应全变分模型去噪法处理(三分量替换处理),处理后得到图 5(f)。由表 3 以及图 5 可以看出替换法较其他方法有明显的优势。

表 3 全域处理图对应的 PSNR 和 SNR 列表

全域处理图	全域 PSNR/dB	全域 SNR/dB
初始图: 图 5(a)	—	—
加噪图: 图 5(b)	11.848 0	-0.797 9
三分量处理法 1: 图 5(c)	24.206 5	11.560 4
三分量处理法 2: 图 5(d)	15.757 2	3.111 2
双分量替换法: 图 5(e)	25.031 9	12.385 8
三分量替换法: 图 5(f)	26.137 1	13.491 0

关于域替换法,本质上是个综合降噪方案,其鲁棒性与此方案所选择利用的分量滤波方法的鲁棒性有关。因此,在进行替换处理时,只须选择利用鲁棒性较好的分量滤波法即可。域替换步骤本身不影响鲁棒性,但是存在使用条件,即本文第 5 节末提到的不适合在带有颜色偏向的域内替换使用。当然,这里的不适用仅是由方案设计具体化时的限制所导致。如果选择限制以内的具体化方案,就可以采用。对于图像层面的适用性,则与选用的分量处理法的适用性有关。首先对于不同数据源进行预判,然后根据数据库选择适用的分量处理方法,最后结合域替换法进行降噪处理即可。域替换步骤本身也不会影响普适性。

## 7 结束语

域替换降噪算法充分利用了彩色图像分量自身及分量之间的信息,选择各种分量处理方法的优点,实现综合域替换处理。本文提出的域替换法仍有一些不足:利用的分量处理法的选择标准有待于进一步研究;分量处理法在低信噪比情况下,对 H 域未有明显效果(对 S 域处理较好)。现在仍需要有效低信噪比情况下的 H 域处理法。

此外值得一提的是,域替换法中的一般处理方法可以是  
(下转第 15 页)