

# 新型快速中值滤波算法及在医学图像中的应用\*

林清华<sup>a</sup>, 杜民<sup>b</sup>

(福州大学 a. 电气工程与自动化学院; b. 福建省医疗器械和医药技术重点实验室, 福州 350002)

**摘要:** 医学图像的处理具有数据量大、实时性强的特点。而传统中值滤波(SM)算法需对滤波窗口内所有的元素完全排序后确定中值,算法的时间复杂度较高,执行效率低,无法满足医学图像实时处理的需要。为提高中值滤波算法的执行效率,提出一种新型的快速中值滤波算法,将基于排序查找中值的过程转换为基于分治查找中值的过程,有效地避免了对中值滤波而言不必要的完全排序运算,降低了算法的复杂度;同时在分治查找过程中,利用医学图像未受干扰时图像中像素值的变化是渐变的特性,优先选用中心点附近的像素值进行分治查找,达到提高算法效率的目的。理论分析和实验结果均验证了该算法的可行性和有效性。实验结果显示,该算法提高了医学图像的滤波速度,增强了医学图像处理的实时性。

**关键词:** 中值滤波; 医学图像处理; 快速算法; 分治查找

**中图分类号:** TP391

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-3695(2012)09-3584-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.09.103

## Novel fast median filtering algorithm and its application in medical image

LIN Qing-hua<sup>a</sup>, DU Min<sup>b</sup>

(a. College of Electrical Engineering & Automation, b. Fujian Key Lab of Medical Instrument & Pharmaceutical Technology, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** Huge data and real time are the characteristics of medical image processing. But standard median filter need to sort all the pixels in the mask for finding the median value. So the algorithm is time consuming, and can't meet the need of real time processing of medical image. To improve the efficiency of median filter, this paper proposed a novel fast median filter algorithm, which changed the process of finding median by sorting into dividing searching. In dividing searching, it used the pixels near middle of the mask for priority dividing searching. It could save the time for sorting. Theory analysis and simulation results prove the proposed algorithm is reasonable and effective. Experiment results show that the algorithm increases the speed of medical image filtering, enhances the real time processing of medical image.

**Key words:** median filter; medical image processing; fast algorithm; divided searching

## 0 引言

随着成像技术的发展,医学图像在医学研究与临床医学中的应用越来越广泛。但是医学成像设备在扫描及重建时,由于设备本身性能的限制以及操作者的操作水平影响,医学图像经常会受到各种噪声的干扰,而这些噪声将极大地影响医学图像的后续处理,如图像的边缘检测、图像分割、图像识别等。因此,非常有必要在处理图像之前对图像进行滤波。在众多的滤波算法中,中值滤波是一种简单而有效的滤波算法。它既能有效排除图像的极值奇异点,又能保持图像的阶跃边缘,因而得到了广泛地研究和应用。

医学图像的处理具有数据量大、实时性强的特点。但传统的中值滤波算法需要对滤波窗口中所有的像素点进行排序,然后选取排序后数列的中值来代替窗口中心点的像素值。而对滤波窗口内所有的像素排序需耗费极多的时间,算法执行的效率较低,无法满足医学图像对实时性的要求。例如,对于采用快速排序的中值滤波算法,当滤波窗口为  $m \times n$ ,共有  $p$  个像素

点时,快速排序算法的时间复杂度为  $O(p \log p)$ 。可见总像素点数  $p$  越大,时间复杂度也越大。为了克服中值滤波算法的上述缺点,许多学者提出了各种方法来提高中值滤波算法的速度。文献[1,2]提出一种伪中值滤波算法,该算法将滤波窗口内的像素分块求过渡中值,再用这些过渡中值选取伪中值。伪中值滤波算法虽然降低了运算量,但是所取得的伪中值并不能保证是滤波窗口的真正中值,滤波结果存在较大的失真。文献[3,4]提出一种基于均值查找的中值滤波算法,该算法以均值为筛孔,按照预定的规定减少待排序的像素点的数目,从而减轻算法在排序方面的运算量。但是算法引进了均值,增加了算法在其他方面的运算量及系统开销。文献[5,6]提出一种基于投票的中值滤波算法,该算法构建一个投票箱(或查找表),对窗口内所有像素投票,统计投票并判决。但是这种算法的存储单元很大,每次的投票及之后的遍历也同样十分耗时,且该算法不适应浮点数操作。文献[7]提出基于统计的中值滤波算法,该算法统计大于和小于滤波窗口内某个值的像素个数,当两边相等时,则表明该像素值为中值。该算法是基于并行的

**收稿日期:** 2012-02-14; **修回日期:** 2012-03-29 **基金项目:** 国家科技部国际合作项目(2009DFA32050);福建省科技合作项目(2009I0016;2011Y4007)

**作者简介:** 林清华(1980-),男,福建莆田人,博士研究生,主要研究方向为图像处理与模式识别(fzulins211@163.com);杜民(1955-),女,福建泉州人,教授,博导,主要研究方向为图像处理与模式识别。

原理来提高算法的速度,每次的统计都是重新统计,算法的运算量仍然较大,实时性不强。文献[2,8~10]提出一种基于关联的中值滤波算法,该算法利用相邻窗口的关联信息,仅对移入和移出的像素进行插值排序。该算法可以降低前后滤波窗口存在大量重叠区域情况下的运算量,但是对于自适应中值滤波算法、开关滤波算法等,由于滤波的窗口形状、大小、位置等都在变化,前后的关联性较小而且复杂,基于关联的中值滤波算法难以有效使用。文献[11~13]提出一种开关中值滤波算法,该算法将像素分为信号点和噪声点,对于噪声点,用窗口内中值取代噪声,对于信号点,保持原值不变。开关中值滤波可以降低整个运算过程的运算量,但是未涉及中值滤波算法本身的运算复杂度,只是运用方面的改进。

中值滤波的关键在于寻找滤波窗口内像素的中间值,而对滤波窗口内其他像素点的排列顺序则不作要求,只要这些像素点同等的分列在中间值两侧既可。对此,本文提出一种基于分治查找的新型快速中值滤波算法 DSFM (divided searching fast median filter algorithm)。DSFM 充分利用中值滤波算法对滤波窗口内其他像素点的排列顺序不作要求的特点,将排序后确定中值元素的过程转换为分治查找中值的过程,将排序的过程转换为目标的查找过程,从而有效地降低了算法的复杂度。在分治查找过程中,利用医学图像未受干扰时图像中像素值的变化是渐变的特性,优先选用中心点附近的像素值进行分治查找,以达到提高算法效率的目的。

## 1 算法原理

### 1.1 传统的中值滤波算法

传统的中值滤波算法 (standard median filter algorithm, SM) 需要对滤波窗口内的所有像素进行排序,再依据排序的结果选取中值。常用的排序方法有插入排序、交换排序、选择排序、归并排序、分配排序等。上述各种排序算法各有各的优点,需根据实际情况选用,如待排序的数目、对稳定性的要求、存储结构、对时间和辅助空间复杂度的要求等。这里以快速排序(交换排序的一种)来说明传统的中值滤波算法的原理。快速排序算法的基本思想是将大问题分解为若干个规模较小但结构与大问题相似的小问题,递归地解决这些小问题后,将小问题的解组合为大问题的解。算法的流程图如图1所示。

### 1.2 基于分治查找的快速中值滤波算法

由于中值滤波算法只要找出滤波窗口像素点集合的中值,如果不对窗口内的所有像素进行排序,则可以减少大量的排序时间,提高算法的实时性。根据这种思想,本文提出的 DSFM 充分利用中值滤波算法对滤波窗口内其他像素点的排列顺序不作要求的特点,将基于排序寻找中值的过程转换为基于分治查找中值的过程。在分治查找过程中,利用医学图像未受干扰时图像中像素值的变化是渐变的特性,优先选用中心点附近的像素值进行分治查找,以达到提高算法效率的目的。DSFM 的基本思想是:以中心点附近的元素为基准,将集合分为小于该元素的集合  $L_{set}$ 、等于该元素的集合  $E_{set}$  和大于该元素的集合  $H_{set}$ ,同时设定一个指向中间值的指针来确定目标集合。对目标集合重复上述过程,直至找到中间值。算法原理如图2所示。算法的流程图如图3所示。

算法原理的执行过程如下:

不失一般性,作如下设定:初始集合  $O$  总个数为  $2n+1$ ;中值元素代号为  $Med$ ;首次分治的起始地址  $CB=0$ ;首次分治的

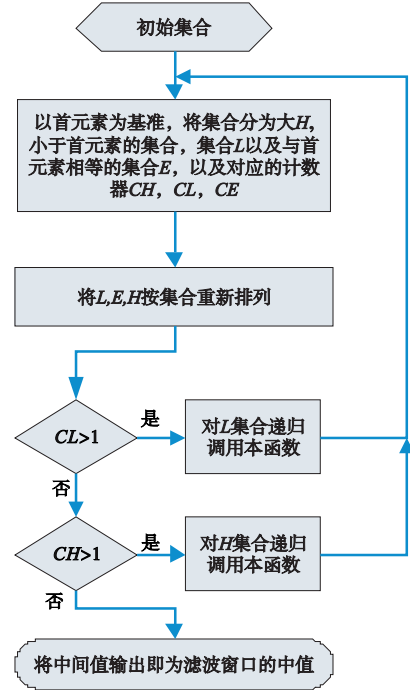


图1 传统中值滤波算法流程图

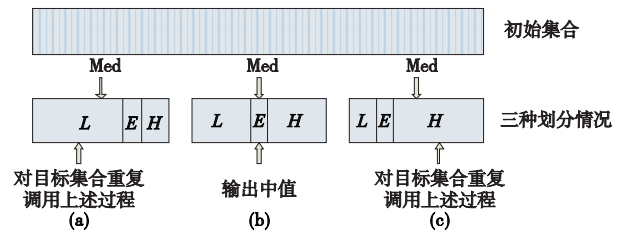


图2 新型快速中值滤波算法原理

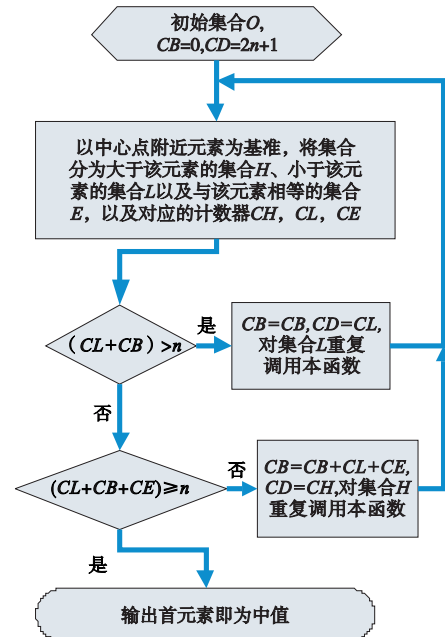


图3 新型快速中值滤波算法流程图

长度  $CD = 2n + 1$ ;划分小于中间元素的集合为  $L_{set}$ , 元素个数为  $CL$ ;等于中间元素的集合为  $E_{set}$ , 元素个数为  $CE$ ;大于中间元素的集合为  $H_{set}$ , 元素个数为  $CH$ 。

a) if  $(CL + CB) > n$ ;

then  $Med \in L_{set}$ ;

change  $CB = CB$ ;  $CD = CL$ ;

repeat  $L_{set}$ .

b) if  $(CL + CB) < n$  and  $(CL + CB + CE) \geq n$ ;

then  $Med \in E_{set}$ ;

```

Med = Eset(1);
end;
c) if (CL + CB + CE) < n;
then Med ∈ Hset;
change CB = CL + CB + CE; CD = CH;
repeat Hset.

```

## 2 算法分析

### 2.1 传统的中值滤波算法 SM 的时间复杂度

对于采用快速排序的中值滤波算法而言,算法执行的平均时间可以代表传统中值滤波算法的运算性能。设对  $N$  个元素进行快速排序所需要的时间为  $T_s(N)$ ,根据上述分析的原理有

$$T_s(N) = T_p(N) + T(L) + T(H) \quad (1)$$

其中: $T_p(N)$  为对  $N$  个元素进行一次快速排序所需的时间,与集合的元素  $N$  成正比, $T_p(N) = kN$ ;  $T(L)$  和  $T(H)$  分别为对快速排序后的两个子集合进行快速排序所需要的时间。若排序集合中所有元素随机排列,根据文献[14],那么快速排序所需的平均时间为

$$T_s(N) = kN + \frac{2}{n} \sum_{j=0}^{n-1} T_{\text{avg}}(j) \quad (2)$$

其中, $T_{\text{avg}}(j)$  为对第  $j$  个元素进行快速排序的平均时间复杂度。根据参考文献[14],式(2)可进一步表达为

$$T_s(N) \leq cN \cdot \ln(N) \quad (3)$$

其中, $c$  为常数。由此可见,当滤波窗口增加时,算法的时间复杂度会大幅度增加。

### 2.2 DSFM 的时间复杂度

采用快速排序的中值滤波算法,需要对所有的元素进行排序。但这对于中值滤波而言,进行了许多无效的排序操作,因为中值滤波算法只在意滤波窗口内的中间值。同时,快速排序的目标是对所有的元素进行排序,而 DSFM 的目标是找出元素的中值,目标的不同也导致了执行过程的不同。这些的不同,都使得 DSFM 的执行效率比传统的中值滤波算法高。

DSFM 是以滤波窗口中间点附近的像素值为分界进行分类的,在循环调用时只对目标集合进行操作,略去了与目标无关的集合。其时间复杂度为

$$T_D(N) = T_p(N) + T(M) \quad (4)$$

其中, $T(M)$  为对目标集合进行快速查找的时间。假设滤波窗口内的元素是随机排列的,那么一次排序后目标集合  $M$  中元素的个数为  $N/2 + 1$  到  $N - 1$  的任一值的概率相同,则 DSFM 算法查找所需时间的平均值为

$$T_{D\text{avg}} = kN + \frac{1}{N} \sum_{j=\frac{1}{2}N+1}^{N-1} T_{\text{avg}}(j) \leq 2kN \quad (5)$$

由此可见,DSFM 算法的时间复杂度为  $O(N)$ 。相对于基于快速排序 SM 算法的时间复杂度  $O(N \log N)$ ,DSFM 具有更高的执行效率。

## 3 实验结果与分析

为了验证本文算法的有效性,设计了以下实验。如图 4 所示,首先对一幅  $512 \times 512$ ,16 位灰度的头部 MRI 图像进行中值滤波,滤波窗口分别为  $3 \times 3$ 、 $5 \times 5$  和  $7 \times 7$ 。实验用计算机配置为:CPU Core2@2.10 GHz, Memory 2 GB, Windows xp 操作系统上使用 VC6.0 编写测试程序。同时,算法的实验结果与采用快速排序的 SM 算法进行比较。两种算法运算的时间

如表 1 所示。

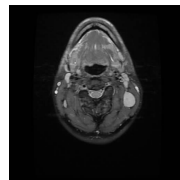


图4 单幅核磁共振图像

表 1 单幅核磁共振图像的传统算法和新型算法的性能比较

| mask size    | $t_{\text{SM}}/\text{s}$ | $t_{\text{DSFM}}/\text{s}$ | $(t_{\text{SM}} - t_{\text{DSFM}})/\text{s}$ |
|--------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------------------|
| $3 \times 3$ | 37.43                    | 15.19                      | 22.24                                        |
| $5 \times 5$ | 112.39                   | 31.82                      | 90.57                                        |
| $7 \times 7$ | 224.63                   | 56.18                      | 168.45                                       |

从表 1 可以看出,对于不同大小的滤波窗口,DSFM 算法的执行速度都远快于采用快速排序的 SM 算法。其原因是 DSFM 算法只对滤波窗口的整体依据某些元素作粗略的排序,找出中间值即可。而 SM 算法对窗口内所有元素进行排序,再找出中间值,执行了更多与寻找中间值无关的排序运算,其执行速度较 DSFM 慢,滤波窗口越大,慢的越多。

如图 5 所示,笔者对一组共 36 幅  $512 \times 512$ ,16 位灰度的头部 MRI 图像分别采用 DSFM 算法和快速排序 SM 算法进行中值滤波,滤波窗口为  $3 \times 3$ ,计算机配置及算法程序同上述一致。两种算法运算的时间如表 2 所示。

表 2 一组核磁共振图像的传统算法和新型算法的性能比较

| image No. | $t_{\text{SM}}/\text{s}$ | $t_{\text{DSFM}}/\text{s}$ | $(t_{\text{SM}} - t_{\text{DSFM}})/\text{s}$ |
|-----------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------------------|
| 1         | 40.23                    | 15.19                      | 25.04                                        |
| 2         | 39.24                    | 15.14                      | 24.10                                        |
| 3         | 38.47                    | 15.26                      | 23.21                                        |
| 4         | 37.79                    | 15.20                      | 22.59                                        |
| 5         | 37.13                    | 15.15                      | 21.98                                        |
| 6         | 36.28                    | 15.17                      | 21.11                                        |
| 7         | 35.69                    | 15.17                      | 20.52                                        |
| 8         | 35.17                    | 15.38                      | 19.79                                        |
| 9         | 34.65                    | 15.26                      | 19.39                                        |
| 10        | 34.23                    | 15.23                      | 19.00                                        |
| 11        | 33.96                    | 15.09                      | 18.87                                        |
| 12        | 33.29                    | 15.15                      | 18.14                                        |
| 13        | 33.19                    | 15.11                      | 18.08                                        |
| 14        | 32.96                    | 15.08                      | 17.88                                        |
| 15        | 32.97                    | 15.20                      | 17.77                                        |
| 16        | 32.80                    | 15.17                      | 17.63                                        |
| 17        | 32.87                    | 15.10                      | 17.77                                        |
| 18        | 32.86                    | 15.02                      | 17.84                                        |
| 19        | 32.92                    | 15.11                      | 17.81                                        |
| 20        | 32.97                    | 15.07                      | 17.90                                        |
| 21        | 33.29                    | 15.13                      | 18.16                                        |
| 22        | 33.45                    | 15.14                      | 18.31                                        |
| 23        | 33.67                    | 15.09                      | 18.58                                        |
| 24        | 33.80                    | 15.11                      | 18.69                                        |
| 25        | 33.98                    | 15.13                      | 18.85                                        |
| 26        | 34.27                    | 15.15                      | 19.12                                        |
| 27        | 34.47                    | 15.17                      | 19.30                                        |
| 28        | 34.94                    | 15.28                      | 19.66                                        |

续表2

|         |         |        |        |
|---------|---------|--------|--------|
| 29      | 35.18   | 15.15  | 20.03  |
| 30      | 35.46   | 15.20  | 20.26  |
| 31      | 35.95   | 15.12  | 20.83  |
| 32      | 36.40   | 15.12  | 21.28  |
| 33      | 37.24   | 15.10  | 22.14  |
| 34      | 37.65   | 15.19  | 22.46  |
| 35      | 38.03   | 15.19  | 22.84  |
| 36      | 38.41   | 15.16  | 23.25  |
| average | 35.16   | 15.16  | 20.00  |
| total   | 1265.86 | 545.68 | 720.18 |

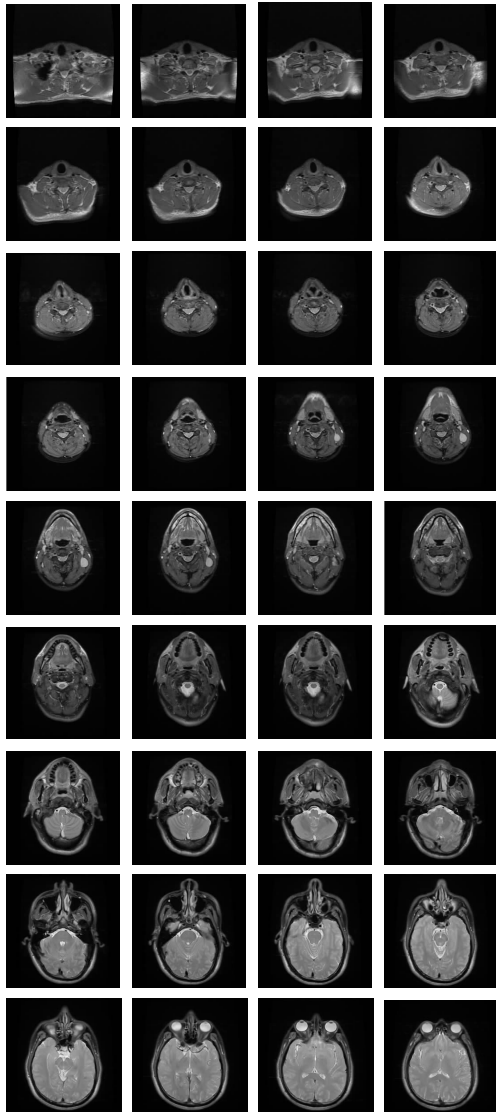


图5 一组核磁共振图像

从表2可以看出,DSFM算法的执行速度优于传统的采用快速排序的SM算法。而且通过本实验可以看出,DSFM算法的稳定性比较好。实验结果验证了理论分析,DSFM算法能极大地提高中值滤波的执行效率。

#### 4 结束语

中值滤波具有将滤波窗口内噪声点往两侧移的特性,中值像素为噪声点的概率较低,因此是一种较为理想的非线性滤波器。但是传统的中值滤波对滤波窗口内的所有元素排序后去中值,执行效率低下。本文结合中值滤波只需中值的特性,充

分利用中值滤波算法对滤波窗口内其他像素点的排列顺序不作要求的特点,将基于排序寻找中值的过程转换为基于分治查找中值的过程,减少了对中值滤波而言不必要的完全排序运算,有效降低了算法的复杂度;在分治查找过程中,利用医学图像未受干扰时图像中像素是渐变的特性,优先选用中心点附近的像素值进行分治查找,达到了提高算法效率的目的。理论分析和实验结果证明,DSFM算法比SM算法具有更低的时间复杂度和更高的执行效率,这对于医学图像的快速中值滤波具有显著的应用价值。

#### 参考文献:

- [1] 徐国保,尹怡欣,谢仕义.基于改进伪中值滤波器的道路图像滤波算法[J].计算机应用研究,2011,28(6):2395-2397.
- [2] LIU Shao-qiang, CHEN Lei, HONG Dan-long, *et al.* Negative weighted repeated pseudo-median filter[C]//Proc of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation. 2010: 6740-6743.
- [3] 鲍华,樊瑜尧,饶长辉,等.基于均值查找的快速中值滤波算法[J].四川大学学报:工程科学版,2011,43(2):76-79.
- [4] 张丽,陈志强,高文焕,等.均值加速的快速中值滤波算法[J].清华大学学报:自然科学版,2004,44(9):1154-1157.
- [5] 张欣,刘英,高秀艳.自适应投票快速中值滤波算法研究[J].计算机工程与应用,2010(6):148-150.
- [6] 张小锋,刘羽.基于多级查找表的图像快速中值滤波算法[J].计算机工程与应用,2011(18):210-211.
- [7] 李元帅,张勇,周国忠,等.图像中值滤波硬件算法及其在FPGA中的实现[J].计算机应用研究,2006,23(s1):61-62.
- [8] 靳斌,郭永彩,杨冠玲,等.一种中值滤波的快速算法[J].重庆大学学报:自然科学版,1999,22(5):11-16.
- [9] 杨明,宋丽华.改进的快速中值滤波算法在图像去噪中的应用[J].测绘工程,2011(3):65-69.
- [10] 王宇新,贺国圆,郭禾,等.基于FPGA的快速中值滤波算法[J].计算机应用研究,2009,26(1):224-226.
- [11] KANG Chung-chia, WANG Wen-june. Modified switching median filter with one more noise detector for impulse noise removal[J]. AEU International Journal of Electronics Communications, 2009, 63(11):998-1004.
- [12] WANG Gai-hua, LI De-hua, PAN Wei-min, *et al.* Modified switching median filter for impulse noise removal[J]. Signal Process, 2010,90(2):3213-3218.
- [13] JIN Liang-hai, LI De-hua. A switching vector median filter based on the CIELAB color space for color image restoration[J]. Signal Process, 2007,87(6):1345-1354.
- [14] HUANG T, YANG G, TANG G. A fast two-dimensional median filtering algorithm[J]. IEEE Trans on ASSP, 1997,27(1):13-18.
- [15] 曹治华,宋斌恒.多种形状窗口下的快速中值滤波算法[J].计算机应用研究,2006,23(3):85-88.
- [16] 李刚,范瑞霞.一种改进的图像中值滤波算法[J].北京理工大学学报,2002,22(3):376-378.
- [17] 钟灵,章云.双阈值开关型矢量中值滤波[J].计算机应用研究,2010,27(6):2366-2369.
- [18] 许勤,查代奉.基于中值和小波变换的 $\alpha$ 稳定分布噪声滤波方法[J].计算机应用研究,2010,28(4):1388-1390.
- [19] 牛翠霞,范辉,康旭辉.基于医学图像的有效中值滤波算法研究[J].微计算机信息,2008(3):311-312.
- [20] 何清杭,何继善.中值滤波法与梯度法的互补效应在CT图像处理中的应用[J].生物医学工程研究,2004(2):95-97.