

非线性滤波除噪技术综述

马义德 张祥光

兰州大学信息科学与工程学院，兰州 730000

(Email: ydma@lzu.edu.cn)

【摘要】本文阐述了以中值滤波为代表的传统非线性滤波方法以及以形态滤波为代表的新型非线性滤波方法的发展现状,指明自然图像的多样性和噪声本身的复杂性是实现图像滤除噪声的难点,只有将自适应机制、自组织能力、自学习能力与传统的成熟滤波算法相结合,才能使非线性滤波算法彻底摆脱图像多样性和噪声复杂性的困扰。

【关键词】图像复原 中值滤波 形态滤波 遗传算法 模糊数学 神经网络

1、引言

在不同的应用场合中,存在着不同类型的噪声影响。按噪声对信号的影响可分为加性噪声和乘性噪声两大类^[1]。在计算机视觉和数字图像处理中,噪声的消除一直是人们关注的重点。在一些应用领域,例如基于计算图像导数的算子中,图像中的任何一点噪声都会导致严重的错误。噪声与要研究的对象不相关,它以无用的信息形式出现,扰乱图像的可观测信息。噪声可被译成或多或少的极值,这些极值通过加减作用于一些像素的真实灰度级上,在图像上造成黑白亮暗点干扰,极大降低了图像质量,影响图像复原、分割、特征提取、图像识别等后继工作的进行。因而对其抑制处理是图像处理中非常重要的一项工作。

在数字信号处理和数字图像处理的早期研究中,线性滤波器是噪声抑制处理的主要手段。线性滤波器简单的数学表达形式以及某些理想特性使其很容易设计和实现。然而,当信号频谱与噪声频谱混叠时或者当信号中含有非叠加性噪声时(例如由系统非线性引起的噪声或存在非高斯噪声等),线性滤波器的处理结果就很难令人满意。在处理图像时,传统的线性滤波器在滤除噪声的同时,往往会严重模糊图像细节(如边缘等),而且不能有效滤除椒盐噪声。就是说,线性滤波器在信号与噪声彼此相关情况下不能很好工作。虽然人类视觉的确切特性目前还未完全揭示出来,但许多实验表明,人类视觉系统的第一处理级是非线性的。基于上述原因,早在1958年维纳(Wiener)就提出了非线性滤波理论。非线性滤波器在一定程度上克服了线性滤波器的这一缺点。由于它能够在滤除噪声的同时,最大限度地保持了图像信号的高频细节,使图像清晰、逼真,从而得到广泛应用和研究。目前已有许多比较经典的非线性滤波算法,如:中值滤波^[2]、形态滤波^[3]、层叠滤波^[4]以及基于中值滤波的一些改进滤波算法等。

一般图像处理过程如图1-1图像处理链状图所示,包含以下五项不同的工作:

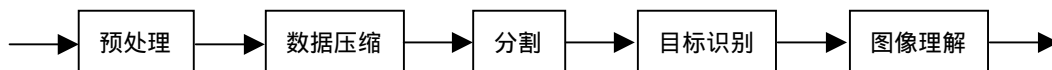


图 1-1 图像处理链状图

图像预处理:具体又分为噪声去除、图像增强、边缘检测以及去模糊等。

数据简化:具体又分为图像压缩和特征提取等。

分割:具体包括纹理分割、颜色识别和分类等。

目标识别:具体包括模板匹配以及基于特征的识别等。

图像理解：具体包括景物分析以及目标重组等。

而非线性滤波理论应用于噪声抑制，对图像处理的五个过程特别是对于图像的预处理，起着至关重要的作用，因为后续的处理与预处理的结果紧密相关。为此，本论文主要研究非线性滤波理论应用于图像抑噪。

2、非线性滤波技术的现状

非线性滤波技术一般利用原始信号与噪声信号特有的统计特性进行除噪，现有的非线性滤波方法有：以中值滤波为代表的传统非线性滤波方法和以形态滤波等为代表的正在研究中的新型滤波方法。

2.1 传统非线性滤波方法

2.1.1. 中值滤波方法

中值滤波是由图基(Turky)在 1971 年提出的，它最初主要用于时间序列分析，后来被用于图像处理，并在去噪复原中取得了较好的效果。中值滤波器是基于次序统计完成信号恢复的一种典型的非线性滤波器，其基本原理是把数字图像或数字序列中心点位置的值得用该点邻域的中值替代。它的优点是运算简单而且速度快，除噪效果好，但在滤除噪声(尤其是高斯噪声)的同时损失了信号的高频信息，使图像的边缘等细节模糊，为此，提出了很多改进的中值滤波方案。

在对中值滤波器进行理论分析时，都假设信号是常数或者是理想信号，然而，实际的图像都具有极其复杂的结构，这些结构(例如线段、锐角等)都可能被窗口较大(例如 5×5)的中值滤波处理破坏。因为排次序过程很可能破坏任意结构和空间的邻域信息，因此可以认为中值滤波破坏线段、锐角等信息也是必然的。为了减少中值滤波器的这种破坏作用，进一步提高滤波效果，人们提出了许多改进型中值滤波器。常见的有以下几种：

加权中值滤波：

为了改进中值滤波的边缘信号保持效果，文献[5]提出了加权中值滤波。在中值滤波中，窗口内各点对输出的作用是相同的，如果希望强调中间点或距中间点最近的几个点的作用，可以采用如下方法：其基本思路是改变窗口中变量的个数，可以使一个以上的变量等于同一点的值，然后对扩张后的灰度值的数字序列求中值^[2]。

中心加权中值滤波：

文献[6]提出的中心加权中值滤波是一种特殊的加权中值滤波，它仅对中心像素加权，所以边缘保持特性比一般的加权窗要好。但是由于其噪声滤除能力较低，因此实际中不怎么常用。针对这种情况，文献[7]提出改进的中心加权中值滤波，其主要思路是采用二级权去分别实现滤波保持和去噪修复功能：第一级权取中心加权方式，实现对噪声的滤除功能；第二级权取中心的紧邻像素，分担中心去噪后以紧邻像素值对中心像素进行重新修复的功能。

方向中值滤波：

由中值滤波算法的特点可知，直接用中值滤波对方向性很强的图像(如指纹图像等)进行滤波，效果并不是很理想，而且指纹纹线易出现断线和粘连，所以，文献[8]、[9]在处理这类图像时引入了方向信息，即利用指纹方向图来指导中值滤波的进行，这种方法即所谓的方向中值滤波算法。该算法主要用于纹理性较强的图像平滑。它通常采用狭长的窗口，滤波时，窗口方向随指纹纹线方向的变化而旋转。虽然方向中值滤波法的处理效果比较好，但它存在如下缺点，即，若设滤波窗口长为 W ，则滤波的结果就会将那些宽度小于 $W/2$ 的点作为噪声滤除掉，同时还可将纹线上那些宽度大于 $W/2$ 的断裂连接起来；另外，由于这种方法使

用的是狭长的窗口，滤波时，窗口方向随滤波方向的变化而旋转，因此操作计算起来很不方便，而且速度也很慢，是一般指纹自动识别系统所不能容忍的。基于此，文献[10]提出了一种改进方法：当窗口不是方形时，把狭长窗口转化为加权方窗，然后用加权方窗与图像中相应像素值相乘后再进行计算，这样即可把几何上狭长的不规则窗口用数学上规则的加权方窗来代替，又把狭长窗口在几何上的旋转，用加权方窗中加权值的旋转变化来代替，从而简化了算法。但是，这样处理后的窗口应用起来仍不方便，因为方窗小，方向性就不强，效果则受到限制；可是若方窗大，计算量就将增大，速度则将变得更慢。基于此，文献[11]引入模糊理论的思想，在权值设定上给予方向一定的模糊性，且越接近当前窗口中指纹纹线的方向，赋予其权值越大，越偏离该方向，权值越小。这样处理的好处在于：改变该方向上加权值的大小，就相当于改变狭长窗口的长度；而改变其余方向上的加权值的大小，则相当于改变其宽度。所以，只要适当选择加权值的大小，就既可缩小加权方窗的大小，又基本上不影响处理的结果。

开关中值滤波：

由于以往的方案在进行滤波操作时，对图像内所有的像素点都同样对待，这样做，不但破坏了很多未被污染的点，造成图像的严重失真，而且这样的误操作占用了大量的时间，对算法的实时处理有很大影响。基于此，文献[12]提出了开关中值滤波处理方案：首先根据特定的判别标准将全部像素分为噪声 N 和信号 S ；然后，对噪声和信号分别进行处理，对于信号，保持原值不变，对于噪声，根据空间相关性由其邻域的中值取代。在这里，判别标准的选择是处理的关键。

除了上面介绍的这几种典型的滤波方法外，还有其它各种改进的中值滤波算法，如：文献[13]提出基于结构元约束的最优加权中值滤波，文献[14]提出软开关自适应中值滤波，文献[15]提出利用局部统计信息来进行信号与噪声分离的滤波方案，文献[16]提出多窗口中值滤波，文献[17]提出多方向中值滤波等。

2.1.2. 自适应滤波方法

在实际应用中，对于不同类型的信号和噪声，非线性滤波器参数必须经过优化才能得到较好的效果。然而，在许多情况下，人们对求这些参数所需的有关信号和噪声统计特性的先验知识所知甚少，某些情况下这些统计特性还是时变的。针对这种情况，自适应非线性滤波器就自然成为有效的处理手段。该类滤波器的简单工作过程为：首先输入信号通过参数可调数字滤波器后产生输出信号，将其与参考信号进行比较，形成误差信号。误差信号通过某种自适应算法对滤波器参数进行调整，最终使误差信号的均方值最小。在设计这种滤波器时不需要事先知道关于输入信号和噪声的统计特性的知识，它能够在自己的工作过程中逐渐估计出所需的统计特性，并以此为依据自动调整自己的参数，以达到最佳滤波效果。一旦输入信号的统计特性发生变化，它又能够跟踪这种变化，自动调整参数，使滤波器性能重新达到最佳，这也是自适应的由来。在判断最佳滤波效果时，各种文献所用的准则是不一样的：文献[18]提出了以 PSNR 为性能指标的自适应算法，文献[19]提出了以 MAE(最小平均绝对误差)为性能指标的自适应算法，文献[20]提出了以 MAE 和 MSE 为性能指标的自适应算法，其中 MSE 准则有利于滤除高斯噪声，而 MAE 准则有利于滤除椒盐噪声。

2.2 研究中的非线性滤波新算法

近些年来，数学各分支在理论和应用上的逐步深入，使得层叠理论、数学形态学、模糊数学、遗传算法、小波理论等在图像去噪技术应用中取得很大进展，产生了不少新的除噪算法。主要有：

2.2.1. 基于数学形态学的滤波方法

形态学一般指生物学中研究动物和植物结构的一个分支。人们后来用数学形态学表示以形态为基础对图像进行分析的数学工具,它的基本思想是用具有一定形态的结构元素去量度和提取图像中的对应形状以达到对图像分析和识别的目的。数学形态学的数学基础和描述语言是集合论。应用数学形态学可以简化图像数据,保持图像的基本形状特性,并除去不相干的结构,此外,数学形态学的算法还具有天然的并行实现结构。

由于形态滤波器是基于信号的几何特征,利用预先定义的结构元对信号进行匹配,以达到提取信号、保持细节和抑制噪声的目的,所以,结构元的选取是形态滤波的关键。在形态滤波应用的最初,人们选取方形或圆形作为结构元,相比于其它滤波方法,取得了较好的滤波效果。

传统的形态滤波由于只采用了单一的结构元(方形或圆形等),所以,在滤除噪声的同时,也会损失图像的一些细节。基于此,文献[21]定义了一类全方位多结构元,让结构元尽可能地覆盖图像的各个方向,从而,在滤除噪声的同时较好地保持了图像的细节信息。

形态滤波器的输出不仅取决于变换形式和结构元的形状,而且取决于结构元的尺寸。由于传统的形态滤波只采用了一种结构元,所以其尺寸是单一的,在处理细节信息比较丰富的图像时,很难达到较理想的效果。为此文献[22]采用两个不同尺寸结构元素,提出了广义形态开--闭和形态闭--开滤波器,计算机模拟结果证明,这种采用同一方向但不同尺寸的结构元对图像进行处理的效果要好于传统的单一尺寸结构元。

此外,随着人们对中值滤波的进一步研究,促使数学形态学发展成为顺序形态学。顺序形态学^[23]是排序统计学和数学形态学的有机结合,它不仅概括了基本的形态变换和中值变换,而且引入了结构元素和百分位值的概念。其中,结构元素与一般的形态滤波器相同;百分位值决定了在结构元素所覆盖的区域内,选择哪类象素作为输出(例如,百分位值取 0, 0.5, 1 时,分别对应腐蚀、中值和膨胀运算)。该类滤波器的特性与结构元素和百分位值有关,一旦结构元素和百分位值被选定,其滤波器的性能也就确定了。

2.2.2. 基于模糊数学的滤波方法

随着处理数据的不断增加以及实时性要求的日益提高,模糊理论的作用越来越明显。在图像处理中采用模糊手段,可以大大减少信息的输入量、处理量和存储量,保证能实时而满意地处理各种问题。但是,模糊处理策略并不是对所有事物一视同仁的,而是根据不同的对象和不同的条件而有所不同。模糊理论中的一个主要的概念是隶属度,在处理椒盐噪声时,受文献[24]中三分法的启示,可利用模糊理论中的隶属度函数将所有象素分为三类:亮区域、暗区域及其它区域,然后对其进行分别处理。文献[25]提出了以高斯型隶属度函数来判别图像中象素的归属。文献[26]提出了一种基于模糊集合论的滤波方法,并在此基础上,进一步引进中值滤波的概念,扩展成中值--模糊滤波,它不仅能有效地抑制信号中的白噪声影响,而且还能有效地减小信号中的脉冲型噪声干扰,减小随机误差。文献[27]提出了迭代模糊中值滤波算法,对随机噪声图像进行预处理,将随机噪声图像转化成椒盐噪声图像,然后利用模糊检测加权均值算法(FDWM)进行噪声去除,这样就使得 FDWM 可用于消除多种噪声。文献[28]提出了一种模糊脉冲噪声滤波器,由模糊脉冲噪声检测器、噪声消除器与模糊结合器构成。模糊脉冲噪声检测器用窗口内的中值与邻近象素信息来检测脉冲噪声,而脉冲消除器用最小最大值算法来计算噪声象素的估计值。与传统的脉冲噪声滤波器相比较,所设计的新滤波器具有良好的脉冲噪声抑制与图像细节边缘保护的性能。

2.2.3. 基于遗传算法的滤波方法

遗传算法是一种借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的高度并行、随机、自适应搜索算法，它主要用于处理最优化问题和机器学习等问题。隐含并行性和对全局信息的有效利用能力是遗传算法的两大显著特点，前者使遗传算法只需检测少量的结构就能反映搜索空间的大量区域，后者使遗传算法具有稳健性。该算法尤其适于处理传统搜索方法解决不了的复杂和非线性问题。它使用参数编码集而不是参数本身，通过模拟进化，以适者生存的策略搜索函数的解空间，它是在点群中而不是在单点进行寻优。遗传算法在求解过程中使用随机转换规则而不是确定性规则来工作，它唯一需要的信息是适应值，通过对群体进行简单的复制、杂交、变异作用完成搜索过程。

遗传算法应用于滤波操作，大部分是为其它滤波器寻找最优的参数。与传统的寻优算法相比，遗传算法有着以下几点明显不同之处：随机的同时并行的搜索策略，避免陷入局部极值的具体措施，以及统一表达为方便处理的符号序列方法等。文献[25]就是通过遗传算法得到网络参数的全局最优解。

2.2.4. 基于神经网络的滤波方法

由于神经网络滤波器本身具备本质上的并行运算能力，再加上它的自组织和自学习能力，使其在图像处理领域的应用越来越广泛。但是，实验证明，简单的神经网络系统，如BP网络，难以有效地滤除噪声。基于此，人们在神经网络中引入模糊理论，利用神经网络所具有的学习能力和自组织能力来对模糊网络的隶属度和推理规则进行学习和优化。由于人类的视觉系统本身就是一个模糊处理系统，所以，引入模糊理论的图像滤波能够获得更好的主观评价效果。这样，引入不同的模糊处理机制便可得到不同的滤波方案：文献[29]采用基于MaxMin模糊运算的模糊神经网络系统，能够对受到椒盐噪声高度污染的较为平坦的图像进行有效平滑，但其缺点是构建的滤波器结构复杂，不利于硬件的实现。基于此，文献[25]提出了一种基于Sugeno模型的模糊神经网络滤波器，Sugeno模型又称TSK模型，它是Takagi、Sugeno和Kang首先提出的一种模糊逻辑推理模型，它引入了解模糊环节，即仅在条件部分实行模糊化，而输出则以输入变量的显函数形式表示出来，以形成一种从输入、输出数据集合中系统地产生模糊规则的新方法。文献[30]利用函数连接型网络理论，提出了一种新的基于神经网络的非线性滤波器，该类滤波器对噪声特性无特殊要求，对初始状态估值有一定的鲁棒性。它可以利用有限的状态量测量信息在线推算其它不可测量的状态变量，为非线性生化过程的在线优化奠定了基础。文献[31]介绍了一种自适应神经网络滤波器，由于神经网络具有学习非线性函数到任意的精度以及自适应能力，这种滤波器优于线性滤波器，能适应各种噪声环境。该滤波器在自适应LMS算法基础上，提出了在线BP训练算法，收敛速度快。文献[32]讨论了匹配滤波器的神经网络实现方法，通过这种方法可以使匹配滤波器的性能逼近最佳，同时摒弃了传统算法难以实时处理的弊端。文献[33]将多层神经网络引入跟踪式卡尔曼滤波器中，提高了估计的精确度。以前的跟踪式卡尔曼滤波器的估计精度与目标的运动状态有关，当目标的运动不能够用线性状态空间模型描述时，其估计精度将要下降，而多层神经网络的引入，改善了这一不足。多层神经网络经过训练以后，能够对卡尔曼滤波器的结果进行修正。文献[34]讨论了将循环U.L.N.(Universal Learning Network)神经网络的一个节的输入作为外信号的输入，而将另一个节的一个输出端作为输出，从而构成了一个具有自循环的传输网络，并初步探讨了用它逼近具有特定传输特性的滤波器的能力，即用学习方法调整网络的各个参数使它的输出与输入之间的传输函数逼近低通、带通和高通滤波函数。文献[35]提出了以一组正弦基函数作为三层前向神经网络中各隐含节点的活跃函数，再以其加权和作为网络的输出特性，构造了一种新的神经网络模型，以此逼近III型线性相位

FIR 滤波器振幅响应；由神经网络的自适应学习算法，自动搜索网络的一组权值，并求得有限脉冲响应，完成滤波器的设计。

2.2.5. 层叠滤波方法

层叠滤波器是一种滑动窗非线性数字滤波器。阈值分解技术的采用使其具有并行处理能力，也使得对多值信号的研究转化为对二值信号的研究。

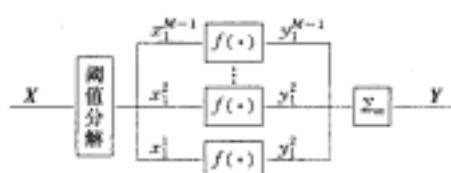


图 1-2 层叠滤波器结构

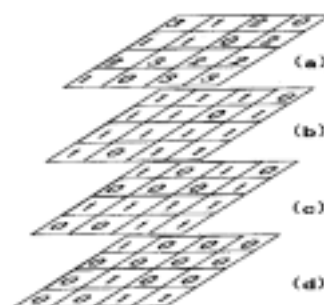


图 1-3 图像信号的阈值分解

层叠滤波器主要有两个部分组成，其一为阈值分解，其二为由函数 f 决定的滤波方案。阈值分解的结果实际上是把 L 级的 $M \times N$ 灰度图像矩阵分解成 L 个二进制 $M \times N$ 图像矩阵。由图 1-2 和图 1-3，我们可以很好地理解层叠滤波操作的这些特性。这样，在函数 f 决定的滤波方案下就可以直接用二值运算进行处理了。拿传统的中值滤波来说，假如被处理的是二值序列，那么中值滤波过程的运算就简化为在窗口内统计 1 的个数，若 1 的个数不小于预先设定的阈值，则中值滤波器输出为 1，否则输出为 0。由此可见，层叠滤波不仅可以并行处理，而且还可以简化运算。鉴于层叠滤波的上述优点，文献[36]利用层叠滤波器并行处理方面的优势，使文献中提到滤波器的硬件实现成为可能；文献[19]提出了一种基于层叠处理的多级自适应 WOS(加权排序统计)滤波器，与以往层叠滤波器相比，极大地减少了滤波器的运算量，文献 [37]提出了 MAE 准则下最优堆栈滤波器的递归实现方法，极大地改进了滤波器的性能。

2.2.6. 基于小波理论的滤波方法

在数学上，小波去噪问题的本质是一个函数逼近问题，即如何在由小波母函数伸展和平移版本所展成的函数空间中，根据提出的衡量准则，寻找对原信号的最佳逼近，以完成原信号和噪声信号的区分。由此可见，小波去噪方法也就是从实际信号空间到小波函数空间的最佳映射，以便得到原信号的最佳恢复。

从信号学的角度看，小波去噪是一个信号滤波的问题，而且尽管在很大程度上小波去噪可以看成是低通滤波，但是由于在去噪后，还能成功地保留图像特征，所以在这一点上又优于传统的低通滤波器。由此可见，小波去噪实际上是特征提取和低通滤波功能的综合。

小波去噪的方法，大体上可以分成小波萎缩法、投影方法、相关方法三类。

小波萎缩法

小波萎缩法是目前研究最为广泛的方法，该方法又可分成如下两类：

(1) 阈值萎缩法：由于阈值萎缩法主要基于如下事实，即比较大的小波系数一般都是以实际信号为主，而比较小的系数则很大程度是噪声。因此可通过设定合适的阈值，首先将小于阈值的系数置零，而保留大于阈值的小波系数；然后经过阈值函数映射得到估计系数；最

后对估计系数进行逆变换，就可以实现去噪和重建。

(2)比例萎缩法：该方法通过判断系数被噪声污染的程度，并为这种程度引入各种度量方法，进而确定萎缩的比例。

投影方法

投影方法的原理就在于将带噪信号以一种迭代的方式，投影到逐步缩小的空间，由于最后的空间能更好地体现原信号的特点，所以投影法也就能有效地区分噪声和信号。

相关方法

相关方法主要是基于信号在各层相应位置上的小波系数之间往往具有很强的相关性，而噪声的小波系数则具有弱相关或不相关的特点来进行去噪的。

2.2.7. 其它方法

除了上面提到的滤波方法之外，还有一些其它滤波方案，如文献[38]提出的结合线性滤波和非线性滤波中的中值滤波思想的一种新型滤波器(该滤波器对高斯噪声有较好的抑制效果)，充分利用了这两类滤波器的优点，较好地改善了滤波性能；文献[39]提出的峰 - 谷滤波是一种新的非线性滤波算法，它不同于传统的中值滤波，而是采用基于极小 - 极大算子^[40]的一系列操作运算，对噪声密度不大的椒盐噪声有较好的抑制效果；文献[41]为满足图像实时处理及同时滤除高斯、脉冲混合噪声的要求而提出的基于均值操作的快速自适应滤波器，运算量大大减少，可以应用在实时图像处理系统中，并且滤波效果与其它滤波器相仿；文献[42]提出的基于 Roberts 梯度算子的差值滤波器不仅图像的噪声得到了平滑、细节得以完好保留，而且运算量小、易于实现；文献[43]提出的基于纹理分析的保细节平滑滤波器较好地解决了图像去噪中存在的平滑和保细节之间的矛盾。

3、图像和噪声本身的统计特性是图像除噪的难点

以上这些算法各有其优缺点，目前所涉及到的大部分非线性滤波算法都是针对特定图像或特定噪声提出的，也就是说，是基于它们的统计特性提出的滤波方案。但是，在实际处理中，自然图像的多样性和噪声本身的复杂性决定了这些滤波算法不可能对所有图像滤波效果均为最佳，所以，那些事先不需要知道图像和噪声统计特性的非线性滤波机制将会得到很广泛的应用：比如自适应滤波器和各种基于神经网络和模糊理论具有自组织、自学习等能力的滤波器的应用和研究将会得到更大的发展。

4、结束语

近几年来，大多数算法都是在前述各种算法基础上发展而来的，通过改进这些算法的性能，在处理某些特定图像和特定噪声时取得了较好的效果。但是，要想彻底摆脱图像多样性和噪声复杂性的困扰，就必须将自适应机制、自组织能力、自学习能力与传统的成熟滤波算法相结合。

目前，自然图像的多样性、噪声本身的复杂性仍是非线性滤波所面临的重大难题，由于这两者都制约着滤波器的除噪效果，所以就现在来说，尚没有一套通用的非线性滤波器设计理论。

一个好的图像处理系统，其中所涉及到的算法能否实时处理图像是该系统实用性的首要条件，过于复杂的滤波器在解决实际问题时是不能接受的。所以，对算法的优化将是实时处理实际问题的难点之一。

与线性滤波相比，非线性滤波缺乏系统性、严密性的数学理论基础。另外，对滤波器的

性能评价上也有一定的局限性。所以,对非线性滤波除噪理论本质的更深入研究和寻找一套更好的滤波器性能评价体系是下一步研究的重点。

参 考 文 献

- 1.张兆礼 赵春晖 梅晓丹.现代图像处理技术及 Matlab 实现[M].北京:人们邮电出版社.2001 年 11 月
- 2.阮秋琦著.数字图像处理学[M].北京:电子工业出版社,2001 年 1 月.
- 3.Serra J., Image analysis and mathematical morphology[M], New York: Academic, 1982.
- 4.Akopian D, Vainio O, Agaian S, Astola J, Processors for generalized stack filters,IEEE Trans.1995.6,SP-43(6):1541~1546.
- 5.D.Brownrigg. The weighted median filter, Commun. Assoc. Comput. pp.807-818,1984
- 6.S.-J Ko, Lee Y H. Center Weighted Median Filter and their Application to Image Enhancement, IEEE Trans. circ.Syst,1991,38,984 ~ 933.
- 7.梁雯,刘松林.图像中心加权中值滤波的改进与应用.《中国图像图形学报》,1997 年第 8、9 期.
- 8.胡海涛.图像分析方法在指纹识别中的应用(硕士学位论文) 广州:中山大学 1991.
- 9.曲大健.数学形态学在指纹图像处理中的应用及指纹比对算法(硕士学位论文).北京:清华大学 1989.
- 10.冯星奎.指纹图像的获取及其预处理、后处理(硕士学位论文).西安:第二炮兵工程学院.1998.
- 11.冯星奎,肖兴明,尹洪君.方向加权中值滤波算法.《中国图像图形学报》,2000 年第 7 期.
- 12.Sun T, Neuvo Y. Detail-preserving median based filters in image processing. Pattern Recognit. Lett.,1994,15:341 ~ 347.
- 13.Yang Ruikang. Optimal Weighted Median Filtering Under Structural Constrains.IEEE transactions on signal processing,1995,43(3):591 ~ 603.
- 14.How-Lung Eng, Student Member, Noise Adaptive Soft-Switching Median Filter. IEEE Trans. Image Processing, 2001, 10(2): 242 ~ 251.
- 15.D.Brownrigg,Decision-based median filter using local signal statistics.In Proc. SPIE Int. Symp. Visual Communications Image Processing,Chicago,Sept.1994
- 16.黄煦涛著,二维数字信号处理 II 变换与中值滤波器[M].北京:科学出版社,1985.
- 17.Richard N Czerwinski, Douglas L Jones, William D O'Brien Jr. Ultrasound speckle reduction by directional median filtering. In: Proceedings of International Conference on Image Processing Vol. 1[C],Washington,D,C,1995:358 ~ 361.
- 18.李树涛,王耀南.图像椒盐噪声的非线性自适应滤除.《中国图像图形学报》,2000 年第 12 期.
- 19.王伟,赵春晖,孙圣和.基于层叠处理的多级自适应 WOS 滤波器.《中国图像图形学报》,2000 年第 8 期.
- 20.赵春晖,惠俊英,王伟,孙圣和.一类自适应顺序形态滤波器.《中国图像图形学报》,2000 年第 8 期.
- 21.赵春晖,王伟.全方位多结构元形态滤波器.《中国图像图形学报》,1997 年第 7 期.
- 22.赵春晖,乔景录,孙圣和.一类多结构元自适应广义形态滤波器.《中国图像图形学报》,1997 年第 11 期.
- 23.Serra J, ed., Image Analysis and Mathematical Morphology,(II) [M].London: Theoretical Advances, Academic Press,1988.
- 24.靳蕃.神经计算智能基础 原理·方法[M].成都:西南交通大学出版社,2001. 1.
- 25.刘忠仁,孙圣和.基于模糊神经网络的脉冲噪声滤波器.《中国图像图形学报》,2001 年第 4 期.
- 26.于盛林,刘文波.用于减少随机误差的中值—模糊滤波器.《计量学报》,1995 年 10 月,第 16 卷 第 4 期.
- 27.杨群生,陈敏,余英林.基于模糊技术的随机噪声消除算法.《华南理工大学学报》(自然科学版),2000 年 8 月,第 28 卷 第 8 期.
- 28.金顺哲谈新权 图像脉冲噪声的模糊检测与消除 《通信技术》,2000 年第 3 期.

- 29.Fabrizio Russo.Hybrid neuro-fuzzy filter for impulse noise removal.Pattern Recognition,1999,32(3):1843 ~ 1855
- 30.胡泽新. 基于神经网络的滤波器. 《自动化学报》, 1996年3月,第22卷第2期.
- 31.杨家兴,周舜云. 神经网络自适应滤波器. 《信息工程学院学报》, 1997年3月,第16卷第1期.
- 32.刘晓军,张宗德. 神经自适应匹配滤波器. 《电子科技》, 1997年4月,第2期.
33. 韩明华.多层神经网络在跟踪式卡尔曼滤波器中的应用. 《电子科学学刊》, 1998年11月,第20卷第6期.
- 34.赵泓,何花,张志广. 用U.L.N.神经网络实现的滤波器.《小型微型计算机系统》, 2000年4月,第21卷第4期.
- 35.邹阿金,沈建中. 正弦基函数神经网络滤波器设计. 《长沙电力学院学报》(自然科学版), 2001年5月,第16卷第2期.
- 36.王伟,赵春晖,孙圣和. 最优全方位结构元约束二维层叠滤波器. 《中国图像图形学报》,1999年第6期.
- 37.张薇,沈允春,张曙. 堆栈滤波的递归实现. 《中国图像图形学报》,2000年第10期.
- 38.景晓军,耿茵茵,蔡安妮,孙景鳌. 静止图像的一种混合滤波及其改进算法. 《通信学报》,2002年第1期.
- 39.Piotr S. Windyga.,Fast Impulsive Noise Removal,IEEE Trans on image processing ,2001.1.(10):173 ~ 179
- 40.M.Werman and S.Peleg. Min-max operators in texture analisis. IEEE Trans.Pattern Anal.Machine Intell. Vol.PAMI-7,no.6,pp.730-733,1985.
- 41.张政,张宇,马樟萼,王希勤. 基于均值操作的快速自适应滤波器. 《中国图像图形学报》,2000年第6期.
- 42.王思贤,曾发龙. 平滑图像噪声的差值滤波法. 《电子科学学刊》,2000年5月,第22卷第3期.
- 43.朱菊华,杨新,李俊,施鹏飞. 基于纹理分析的保细节平滑滤波器. 《中国图像图形学报》,2001年第11期.

The Summarize of Nonlinear Filtering and De-noise

MA Yi-de , ZHANG Xiang -guang

(The school of information science & engineering of Lanzhou University,

Lanzhou of Gansu China,730000)

(Email: ydma@lzu.edu.cn)

Abstract

The paper expounds the developing actuality of the traditional nonlinear filtering algorithm—median filtering and new-style nonlinear filtering algorithm—morphologic filtering. It points out that the diversity of natural images and the complexity of the noises are the difficulties to filter out the image noises. We should integrate self-adaptive mechanism , self-organizing characteristic and self-learning characteristic into traditional mature filtering algorithms. Thus nonlinear filtering algorithm just can get rid of the puzzles of the diversity of natural image and the complexity of the noise.

Keyword Words: *image restoring, median filtering, morphologic filtering, genetic algorithm, fuzzy mathematics, neural networks*