



HULIANWANG+SHIJIAOXIA DE
CHANYE FAZHAN YU GAODENG JIAOYU RONGHE

互联网+视角下的 产业发展与高等教育融合

主 编 狄俊安

执行主编 林中燕

副 主 编 陈金建 周 锋 宋李斌 王艳艳



厦门大学出版社 国家一级出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS 全国百佳图书出版单位

HULIANWANG+ SHIJIAOXIA DE

CHANYE FAZHAN YU GAODENG JIAOYU RONGHE

互联网+视角下的 产业发展与高等教育融合

主 编 狄俊安

执行主编 林中燕

副 主 编 陈金建 周 锋 宋李斌 王艳艳



厦门大学出版社 国家一级出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS 全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

互联网+视角下的产业发展与高等教育融合/狄俊安主编. —厦门:厦门大学出版社, 2016. 11

ISBN 978-7-5615-6301-4

I. ①互… II. ①狄… III. ①文化产业-产业发展-关系-高等教育-研究-中国
IV. ①G124②G649. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 261025 号

出版人 蒋东明

责任编辑 李峰伟

封面设计 李嘉彬

责任印制 许克华

出版发行 厦门大学出版社

社 址 厦门市软件园二期望海路 39 号

邮政编码 361008

总 编 办 0592-2182177 0592-2181406(传真)

营销中心 0592-2184458 0592-2181365

网 址 <http://www.xmupress.com>

邮 箱 xmupress@126.com

印 刷 三明市华光印务有限公司

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 19.25

插页 2

字数 468 千字

版次 2016 年 11 月第 1 版

印次 2016 年 11 月第 1 次印刷

定价 69.00 元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换



厦门大学出版社
微信二维码



厦门大学出版社
微博二维码

支持单位：

- 海峡两岸职业教育交流合作中心
- 福建省信息处理与智能控制重点实验室
- 福建省高校人文社科研究基地互联网创新研究中心
- 福州市数字医疗健康行业技术创新中心
- 闽江学院互联网创新研究院
- 福州康为网络技术有限公司

前言

自20世纪90年代中期以来,互联网的迅速普及和大众化带动了产业的高速发展和经济模式的变革。全球经济一体化的今天,以信息技术为核心的新一轮科技革命正在蓬勃兴起,互联网日益成为产业创新驱动发展和高等教育融合的先导力量,深刻改变着人们的生产生活方式,带动了产业结构的调整以及经营模式的转变,催生了更多的经济发展模式,成为拉动我国消费需求、促进传统产业升级、发展现代服务业的重要引擎。与此同时,对高等教育人才培养提出了更高的要求。

本书从产业发展和人才培养的角度,充分借鉴和参考了国内外相关研究领域的最新观点及资料,探讨互联网+视角下的产业发展与高等教育融合路径,从大数据与云计算、互联网金融与信用体系、电子商务与知识管理、物流与供应链管理、产业教育与人才培养等方面,阐述不同领域分析互联网环境下产业发展与高等教育的融合问题,考量在互联网高速发展的背景下,提高产业链发展效能的有效方法,对推动产业优化、提升全社会经济水平具有重大意义。

本书由狄俊安担任主编,负责总体框架及统稿,由林中燕、王艳艳对全书进行统筹安排,由陈金建、周锋、宋李斌提供案例研究支持,所有署名文章作者均积极参与、认真撰写。

本书为海峡两岸职业教育交流合作中心、福建省信息处理与智能控制重点实验室、福建省高校人文社科研究基地互联网创新研究中心、福州市数字医疗健康行业技术创新中心、闽江学院互联网创新研究院研究成果之一,在此谨对做出巨大贡献和彰显团队高效合作精神的相关人员表示由衷的感谢!

本书在编写过程中,参阅了大量国内外专家、学者、同行的专著、书籍和文章,也参考了互联网上有关网站的资料,在此也对他们表示崇高的敬意和衷心的感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免存在错漏和不妥之处,敬请专家、同行和读者不吝赐教。

编者

2016年10月

目 录

1 大数据与云计算	(1)
1.1 自适应滤波窗实现距离加权图像椒盐噪声滤除	林亚明等(1)
1.2 扦插植物地下组织构型建模与形态仿真	林文如(13)
1.3 Dandelion:OpenStack 云平台的快速部署机制	李立耀等(23)
1.4 带有 GARCH 误差和趋势项的近单位根过程的估计	袁裕泽(33)
1.5 一个类特征和及其混合均值研究	刘伟霞(40)
2 互联网金融与信用体系	(47)
2.1 美元贬值与美国贸易收支关系 ——基于 2002—2008 年季度面板数据的实证研究	林 文(47)
2.2 基于 Malmquist-DEA 模型的产险公司再保险效率实证研究	吴祥佑 苏晓鹏(56)
2.3 我国融资融券业务与股市波动相关性研究	耿庆峰(68)
2.4 ROC 动态检验在信用评级工作中的应用 ——内部评级法验证方法探讨	郑大川(78)
2.5 福建自贸区设立对台商在福建投资影响分析	林斐婷(87)
3 电子商务与知识管理	(92)
3.1 基于洛伦茨曲线的福建省第三产业电子商务应用分析	林中燕(92)
3.2 “移动互联网+糖尿病管理”的应用模式研究	林中燕等(102)
3.3 企业合作开发联盟中关系质量动态化管理理论框架	唐锦铨(106)
3.4 基于知识共享的异质型联合创新团队成员互动研究	唐锦铨(116)
3.5 电子商务发展规模测算的数理估算方法研究	郑大川等(124)
3.6 供给侧改革视角下管理会计的创新	陈 笛(132)
3.7 基于协同创新理论的闽台“政产学研”模式比较研究	黄 蕾(136)
3.8 基于 MDO 方法的商务模式设计模型初探	李 煊(143)
3.9 从品牌个性角度论农产品品牌结构塑造方法	戴 程(147)
3.10 浅析农产品品牌结构模式及其影响因子	戴 程 杨建州(153)
3.11 微博环境中食品安全风险认知和风险传播行为实验研究	赖泽栋等(162)
3.12 福建省农村广告融媒体传播与农民消费行为研究	陈 欢(173)
3.13 基于排队论的移动多媒体广播业务快速复用方法	李 峰等(178)
3.14 旅游网站满意度因子分析——以台湾日月潭风景区网站为例	王艳艳(186)



4 物流与供应链管理	(192)
4.1 基于 GEM 模型的福建省物联网产业发展研究	狄俊安(192)
4.2 连锁超市门店选址与配送中心选择集成决策研究	陈成栋 周宝刚(199)
4.3 物流企业并购整合研究——以嘉里物流收购大荣货运为例	陈成栋(208)
4.4 基于 SWOT 定量分析的无水港发展战略研究	王莹 韩晓争(216)
4.5 生态文明视角下的山区可持续发展研究 ——福建可持续发展实验区的探索与实践	吴晓园 陈志强(222)
4.6 城市信号交叉口左转公交变道问题研究	余诚强(228)
4.7 城市轨道交通基于网络瓶颈的运力资源分配研究	陈慧 汪波(236)
4.8 城市轨道交通三线换乘形式研究	赖丽萍 晏小波(242)
4.9 基于交通冲突的城市交叉口安全评价	黄明芳(246)
5 产业教育与人才培养	(253)
5.1 闽台合作背景下的产业人才培养联动机制研究	狄俊安等(253)
5.2 博雅视角下的台湾本科院校通识教育体系研究	林中燕(262)
5.3 中国台湾地区高等职业技术教育研究及对大陆的启示	林文(268)
5.4 台湾地区高等职业教育体系构建启示	吴洪辉(277)
5.5 海峡两岸高校企业管理专业应用型人才培养模式比较分析	张妍芳(285)
5.6 基于“互联网+”程序设计类课程教学辅助系统的设计	刘维娜 余兆钗(293)
5.7 冲击与重构:新媒介影响下的大学师生关系实证研究	王艳艳(297)

1 大数据与云计算

1.1 自适应滤波窗实现距离加权图像椒盐噪声滤除

◎ 林亚明^① 李佐勇^② 林叶郁^③ 徐 戈

[摘要]目的 在比较几种椒盐去噪方法的滤波窗口尺寸选择策略的基础上,本文提出一种基于自适应滤波窗的距离加权图像椒盐噪声滤除方法。

方法 首先将图像中灰度值为0或255的像素点判定为噪声点,接着对每个噪声点,在以该噪声点为中心、不断增大面积的滤波窗口序列中,寻找包含非噪声点的最小尺寸窗口。若此窗口尺寸小于预设的阈值,则使用该窗口中的非噪声点进行距离加权滤波;否则认为该噪声点位于图像自身灰度值为0或255的像素点区域内部,使用少数服从多数策略计算灰度恢复值。

结果 为验证本文方法的有效性,与其他7种椒盐去噪方法进行了比较。仿真结果表明:当图像自身包含较多灰度值为0或255的像素点时,本文方法去噪效果优于其他7种方法;当图像自身不含或包含较少灰度值为0或255的像素点时,本文方法与其他方法中的最优去噪效果相当。

结论 本文方法不仅能够有效滤除椒盐噪声,而且适用于自身包含较多灰度值为0或255的像素点的椒盐噪声图像。

[关键词] 距离加权;密度估计;椒盐噪声;图像还原

[基金项目] 国家青年科学基金项目(61202318);福建省高校杰出青年科研人才培育计划项目(JA13247);福建省属高校科研专项(JK2014040);闽江学院科研项目(YKY12004)。

① 男,福建福清人,1977年2月生,副教授,闽江学院,研究方向:数字图像处理与模式识别。

② 男,重庆人,1980年8月生,副教授,博士,闽江学院,研究方向:图像处理与模式识别。

③ 女,福建闽侯人,1979年12月生,讲师,闽江学院,研究方向:图像处理与模式识别。

1.1.1 引言

图像在产生、传输过程中由于设备的故障可能出现激突像素点。灰度值为 255 的激突像素点称为盐噪声,灰度值为 0 的激突像素点称为椒噪声。图像通常由灰度变化平缓的区域组合而成,区域之间存在变化明显的边界。椒盐噪声与周围像素点的格格不入,导致了较大的梯度值,使其与边缘点容易混淆,这给图像分析尤其是边缘检测带来了很大的困难。因此,椒盐去噪^[1,2]是图像去噪领域的研究热点。

在椒盐去噪过程中,滤波算子会不同程度地对图像轮廓与细节造成模糊^[3]。为了减少滤波对图像轮廓与细节的影响,一类称为开关滤波的椒盐去噪方法将去噪过程分为两个阶段:①噪声点检测;②噪声点恢复。噪声点检测阶段先判定图像中哪些像素点是椒盐噪声点;噪声点恢复阶段仅对椒盐噪声点进行滤波恢复,而对非噪声点不做任何处理。由于开关策略能够很好地保持图像细节,因此近几年出现的椒盐去噪方法基本上都属于该类方法。

开关滤波噪声点检测阶段的方法比较单一,其中,文献[4-9]在噪声检测阶段将图像中所有灰度值为 0 或 255 的像素点判定为噪声点;文献[10]在噪声检测阶段对于图像中的每个灰度值为 0 或 255 的像素点,以该像素点为中心,在尺寸为 7×7 像素的滤波窗口中,计算过中心像素点的水平、垂直、正斜 45° 、反斜 45° 4 个方向上当前像素与其相邻像素之间的平均差异的绝对值的最小值,如果该值大于预设的阈值,则判定该像素点为噪声点。

在噪声点恢复阶段,常见的处理模式是使用合适窗口尺寸的滤波器对图像噪声点进行恢复。尽管各个文献做法不同,但窗口尺寸是图像椒盐噪声点恢复过程中需要重点考虑的因素。目前主要有 3 类滤波窗口尺寸选择策略:①滤波窗口尺寸为算法预设常量,对所有图像都一致^[4-6];②滤波窗口尺寸由图像的某种噪声特征计算得到,不同图像的滤波窗口尺寸有可能不相同^[7,8];③对图像的每个噪声点使用自适应滤波窗口策略,同一幅图像中不同噪声点的滤波窗口尺寸有可能不相同^[9,10]。

文献[4-6]对每个噪声点都使用 3×3 像素的滤波窗口计算噪声恢复值。MDBA(modified decision based algorithm)方法^[4]将噪声恢复值设置为窗口中信号点灰度值排序后的中值。MDBUTMF(modified decision based unsymmetrical trimmed median filter)方法^[5]与 MDBA 方法类似,差别在:若滤波窗口中全部都是 0 或 255 噪声点,则噪声恢复值设置为窗口中所有像素点灰度值的均值。EFMI(efficient and fast method for impulse noise)方法^[6]需要扫描图像两次,第一次扫描对每个噪声点,若以该噪声点为中心的 3×3 像素的滤波窗口中存在信号点,则噪声恢复值设置为信号点灰度值的均值,否则该噪声点不做处理;第二次扫描和第一次扫描做法相同,区别是将第一次扫描被处理的噪声点也作为信号点参与第二次扫描运算。尽管第一类方法计算恢复值的策略有所区别,但由于滤波窗口尺寸太小,使得在高密度噪声情况下,第一类方法去噪效果都不理想。

AGF(adaptive Gaussian filter)方法^[7]噪声恢复公式使用窗口中非噪声点灰度值线性加权求和。滤波窗口尺寸设置为 9×9 像素,但实际参与噪声恢复的像素点范围是由权值控制的。每个非噪声点权值是该点到窗口中心点欧式距离的高斯函数值归一化的结果。高斯函数的参数 σ 由公式 $\sigma = nl + 0.2$ 计算得到,AGF 通过参数 σ 来控制窗口非噪声点对中心点噪声恢复值的影响。ERMI(efficient restoration method for impulse noise)方法^[8]对窗口中

所有非噪声点做均值滤波,噪声密度估计值 nl 的计算方法与 AGF 方法相同。滤波窗口尺寸由噪声密度估计值 nl 决定,当噪声密度估计值 $nl \in [0.1, 0.5)$ 时,滤波窗口尺寸设置为 3;当噪声密度估计值 $nl \in [0.5, 0.75)$ 时,滤波窗口尺寸设置为 5;当噪声密度估计值 $nl \in [0.75, 0.9)$ 时,滤波窗口尺寸设置为 7。第二类方法存在两个问题:①对图像自身灰度值为 0 或 255 的像素点进行了不必要的滤波;②图像自身灰度值为 0 或 255 的像素点由于和噪声点灰度值相同,影响到噪声密度的估计,使得 nl 噪声估计值误差变大,因此对于自身包含较多灰度值为 0 或 255 像素点的图像,第二类方法去噪效果会很差。

第三类方法的窗口尺寸选择策略都是对每个噪声点,在以该噪声点为中心、不断增大面积的滤波窗口序列中,寻找满足条件的最小尺寸滤波窗口进行滤波运算,其中,DBCWMF(decision based coupled window median filter)方法^[9]的条件是至少存在一个非噪声点;SAWM(switching-based adaptive weighted mean filter)方法^[10]的条件是至少存在两个非噪声点。DBCWMF 方法滤波窗口尺寸最大只到 9×9 像素,这种固定的窗口尺寸上限无法适用于各种类型的图像和各种椒盐噪声密度情况。而 SAWM 方法没有滤波窗口尺寸上限,可能导致滤波窗口尺寸变得非常大,这样得到的滤波恢复值和噪声点原有真实灰度值之间的关联度会很低,最终整体去噪效果反而变差。

上述 3 类算法中,采用自适应窗口尺寸策略的算法去噪效果通常优于采用固定窗口尺寸策略的算法。自适应窗口尺寸策略的算法对图像的每个噪声点均采用自适应策略,而其滤波窗口尺寸上限只是简单地设置为固定值(SAWM 方法滤波窗口尺寸上限为无穷大),没有采用自适应策略,因此具有改进算法的空间。

在现实世界中,图像自身包含灰度值为 0 或 255 像素点的情况是很普遍的。例如,Berkeley 图像库^[11]中 300 幅图像在 Matlab 中通过 `rgb2gray` 函数转换成灰度图像后,图像自身包含灰度值为 0 或 255 像素点的图像共有 278 幅,占图像总数的 92.7%。而从前面讨论可以看出,目前的图像椒盐去噪方法都会受到图像自身灰度值为 0 或 255 像素点的影响。因此,通过解决图像自身灰度值为 0 或 255 像素点对椒盐去噪的影响问题,成为改进现有图像椒盐去噪方法的一条新途径。

1.1.2 本文方法

本文方法基于开关滤波策略,通常噪声点误判很难避免^[10],纠正误判需要获得误判点周围的像素点灰度分布信息,而本文方法的噪声点恢复过程可以获得该信息。为避免重复迭代,本文方法将纠正误判的操作放到噪声点恢复阶段进行。方法首先将图像中灰度值为 0 或 255 的像素点标记为噪声点,在噪声点恢复阶段,对每个噪声点,通过不断增大滤波窗口尺寸来寻找包含非噪声点的最小尺寸滤波窗口进行滤波计算。本文方法没有像 DBCWMF 方法将滤波窗口尺寸上限阈值设置为固定值(DBCWMF 方法窗口尺寸上限设置为 9 像素),而是设置一个全局的滤波窗口尺寸上限阈值 T ,该阈值 T 由图像椒盐噪声密度和原始图像自身灰度值为 0 或 255 的像素点分布联合决定。阈值 T 用于尽可能识别位于原始图像自身灰度值为 0 或 255 像素点区域的像素点,若滤波窗口尺寸扩大到阈值 T 时,仍然找不到包含非噪声点的滤波窗口,则认为该噪声点坐标位于原始图像自身 0 或 255 极值信号点区域,有可能是误判噪声点。该噪声点灰度恢复值设置使用少数服从多数策略,即统计以该噪声点

为中心、尺寸为 T 的滤波窗口中 0 灰度点的个数 num_0 和 255 灰度点的个数 num_{255} , 噪声点灰度恢复值设置为计数多的对应灰度值, 即

$$P_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{if}(num_0 > num_{255}) \\ 255, & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

使用少数服从多数策略的原因在于, 通常图像自身灰度值为 0 或 255 像素点区域中相邻像素点有相同的灰度值, 这些区域也可能受到椒盐噪声的污染。从视觉角度来看, 灰度值为 0 或 255 像素点区域中, 若某个灰度值的像素点占多数, 则该灰度值是该区域真实灰度值的可能性更大。

本文方法整体流程如图 1 所示, 除了滤波窗口尺寸扩大到上限阈值 T 时方法处理策略与 DBCWMF 方法不同外, 本文方法还有另外 3 部分与 DBCWMF 方法不同, 分别是: ① 初始滤波窗口选择; ② 噪声恢复计算策略; ③ 窗口尺寸上限阈值 T 的选择策略。接下来, 分别介绍这 3 部分的内容。

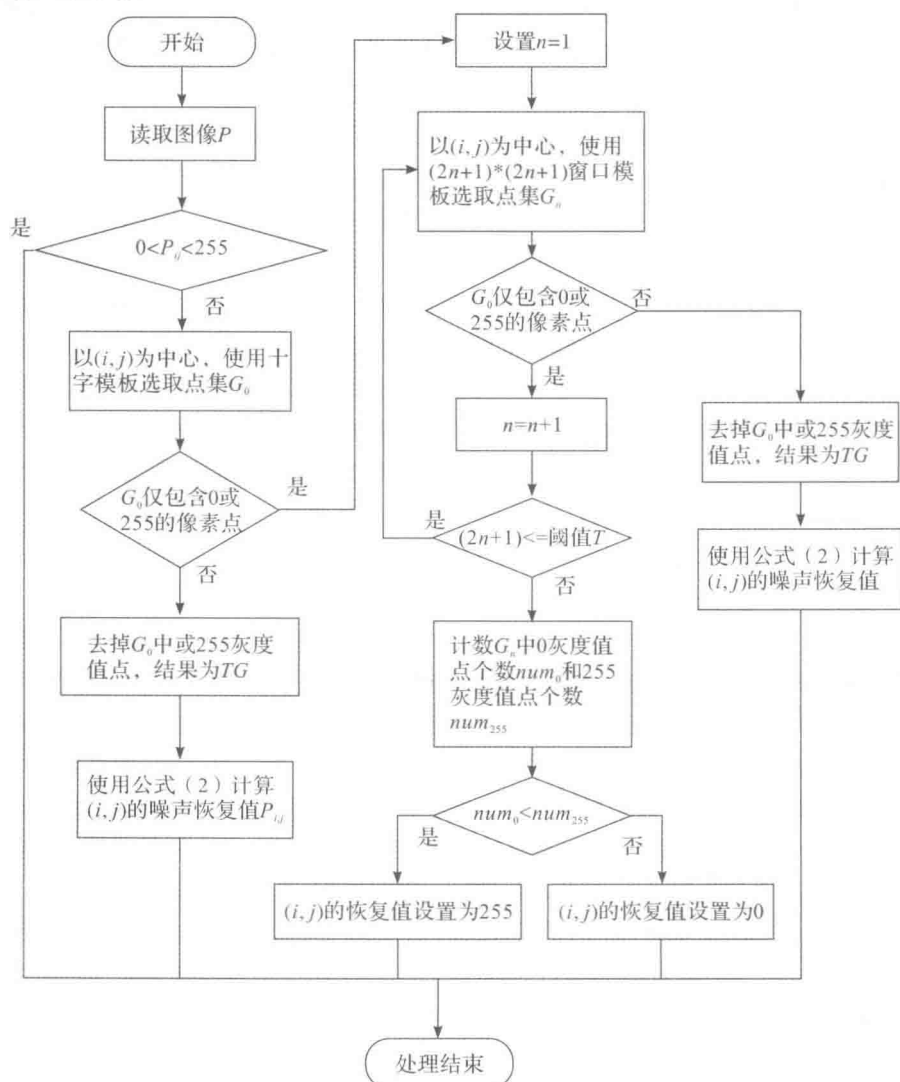


图 1 本文方法完整流程

1.1.2.1 初始滤波窗口选择

对于图像 P 的每个噪声点 (i, j) , 首先在如图 2 所示的十字模板(阴影区域)中寻找是否存在非噪声点。若模板位置存在非噪声点, 则利用十字模板中的非噪声点灰度值计算中心噪声点的恢复值; 若十字模板位置不存在非噪声点, 则继续按照 DBCWMF 方法去寻找包含非噪声点的最小尺寸窗口。由于使用大尺寸窗口滤波会导致去噪后图像模糊, 因此应尽可能使用小尺寸窗口滤波^[9]。十字模板包含的像素点个数比 3×3 窗口模板少, 因此十字模板的“尺寸”比 3×3 窗口模板还要小。

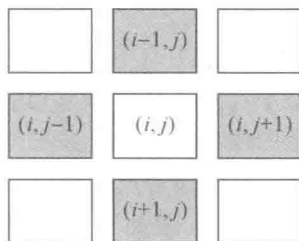


图 2 十字模板(阴影区域)

实际上, 十字模板的应用在其他方法中也得到体现。例如, AGF 方法虽然没有直接使用十字模板, 但是随着噪声密度降低, AGF 方法计算得到的 9×9 像素的滤波窗口中各像素点权值比重会逐渐往中心点靠拢, 最后变成十字模板的效果。

图 3 展示了当噪声浓度为 10% 时, AGF 方法计算得到的滤波窗口权值分布情况[只列出中心 3×3 窗口权值分布情况, 此时 9×9 滤波窗口其他位置权值为 0(精确到 0.000 1)]。

0	0.003 8	0
0.003 8	0.984 7	0.003 8
0	0.003 8	0

图 3 AGF 方法在 10% 噪声密度时中心 3×3 像素的窗口模板权值分布

1.1.2.2 噪声点恢复计算策略

在噪声点恢复阶段, 若找得到小于窗口尺寸上线阈值 T 的最小尺寸窗口, 则滤除掉该窗口中噪声点, 得到非噪声点集 TG , 使用 TG 中所有像素点的灰度值做线性加权计算, 得到噪声点 (i, j) 的恢复值 $P_{i,j}$, 即

$$P_{i,j} = \frac{1}{W} \sum_{\forall K \in TG} W_K P_K \quad (2)$$

式中, 参数 W 用于实现归一化, 即

$$W = \sum_{\forall K \in TG} W_K \quad (3)$$

权值 W_K 设置为 TG 中像素点 (i', j') 到噪声点 (i, j) 之间欧式距离的倒数^[12], 即

$$W_K = \frac{1}{\sqrt{(i-i')^2 + (j-j')^2}} \quad (4)$$

公式(4) 计算得到的权值可以赋予离噪声中心点更近的非噪声点更高的权重。

本文方法使用线性加权滤波而不使用中值滤波的原因在于,从窗口序列中选取的目标窗口有可能尺寸很大,假设该目标窗口半径为 r ,则窗口中各非噪声点到噪声中心点的距离的差值最大为 $(\sqrt{2}-1)r$,随着 r 的增大,该差值也增大,这时不同距离的非噪声点应该差别对待,而中值滤波无法体现远近距离非噪声点的差别处理。

1.1.2.3 窗口尺寸上限阈值 T 的选择策略

滤波窗口尺寸上限阈值 T 与去噪效果好坏有很大的关系。 T 如果设置太小,则在中高噪声密度时,方法找到小于 T 的最小尺寸窗口的概率相应会变小,导致许多噪声点无法有效滤波;如果设置太大,则对于原始图像自身包含较多灰度值为0或255像素点的情况,方法会将较多图像原有灰度值为0或255的像素点误判为噪声点。为了说明窗口尺寸上限阈值 T 与本文方法的去噪效果之间的关系,做如下实验:依次对图4(a)(e)两幅图像添加10%,90%浓度椒盐噪声,采用本文方法使用不同阈值 T (范围取1~10)对加噪图像去噪,计算去噪后图像与未添加噪声的原始图像之间的相似度度量。相似度度量使用峰值信噪比PSNR(peak signal to noise ratio,其定义见本文仿真实验部分),PSNR越大,代表与原始图像越相似,去噪效果越好。计算结果如图5(a)所示。



图4 部分测试图及其自身所含灰度为0或255的像素点个数

从图5(a)可以看出,随着椒盐噪声浓度的增大,本文方法的滤波窗口半径上限阈值 T 也应相应增大才能获得好的去噪效果。然而阈值 T 也不是越大越好,因为随着阈值 T 增大,图像自身灰度值为0或255的像素点被误判为噪声点的概率也相应增加,反而导致去噪后图像效果变差。若图像自身不包含灰度值为0或255的像素点,则过大的阈值 T 只会增加方法的运行时间,并不能提升去噪效果。

从图5(a)还可以看出,在不同噪声浓度下,本文方法对各幅图像去噪都存在最佳的阈值 T 取值范围(黑色点标识),所以综合去噪效果和运行效率两方面,我们希望选取最佳取值范围内的最小阈值。我们将此最小阈值定义为 T^* , T^* 是使用本文方法对加噪图像去噪,使得去噪效果评价指标PSNR值最大的最小阈值。我们发现,如果对同一幅图像施加相同浓度的椒盐噪声,其 T^* 值基本是稳定的。因此,如果本文方法对一幅噪声图像选取的阈值 T 越接近该图像的 T^* ,则去噪效果越理想。

T^* 受到噪声密度和图像自身灰度值为0,255像素点区域的联合影响,为了表达图像自身灰度值为0或255像素点的区域情况,参考文献[13]将图像 P 横竖 K 等分,分割成 $K \times K$ 个子块,分别统计每个子块中灰度为0或255的像素点个数,并对其按升序排列,构成序列

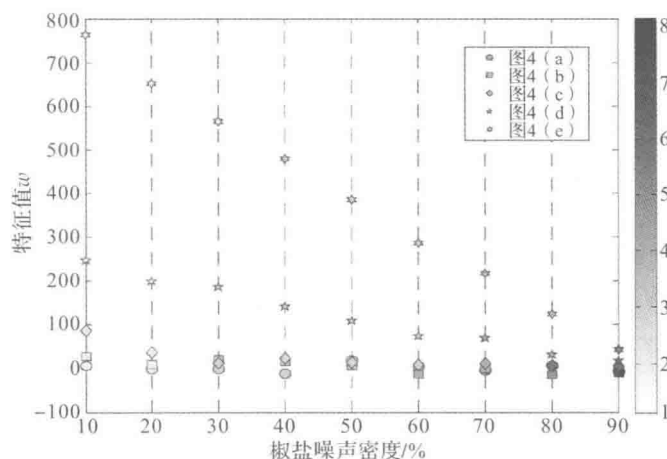
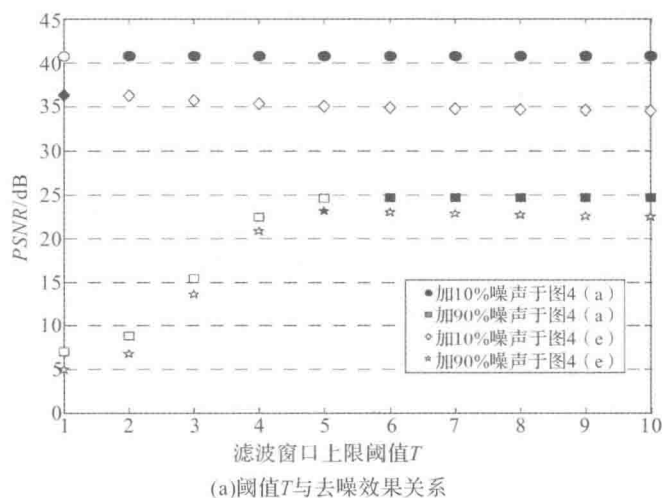


图5 本文方法阈值 T 选取分析

$(n_1, n_2, \dots, n_{k2}), n_{i-1} \leq n_i \leq n_{i+1}$ 。 n_{med} 为序列值 $(n_1, n_2, \dots, n_{k2})$ 的中值, 令 $w = n_1 + n_{k2} - 2n_{med}$, w 可以用来反映 n_{med} 值受图像自身灰度值为 0 或 255 像素点影响的程度^[12], 因此可以用 w 间接表达图像自身灰度值为 0, 255 像素点的区域情况。为了说明特征值 w 与特征 T^* 之间的关系, 做如下实验: 依次对图 4 中 5 幅图像施加 10%, 20%, ..., 90% 椒盐噪声, 计算每幅加噪图像对应的 w 和最小阈值 T^* , 结果如图 5(b) 所示。从图 5(b) 可以看出, 在相同椒盐噪声密度下, 不同图像的 T^* 差别较小 (T^* 值使用图标背景色表示, 越黑代表值越大); 而同一幅图像在不同噪声密度下对应的 T^* 差别较大。因此噪声密度对 T^* 的影响大于特征值 w 对 T^* 的影响。在中低噪声浓度时, 不同图像的 T^* 差别可以通过特征值 w 差别来表示; 而在高噪声密度时, 不同图像的特征值 w 由于图像自身灰度值为 0, 255 的像素点占总 0, 255 灰度点的比例下降, 图像自身灰度值为 0, 255 的像素点对 w 值的影响减少, 使得特征值 w 差别变得很小, 而此时不同图像的 T^* 值差别也很小, 因此可以通过计算加噪图像的噪声密度估计值 nl 和特征值 w 来联合估计 T^* , 从而决定阈值 T 的选取。

本文方法使用训练的方式计算阈值 T 。随机选取 Berkeley 图像库中 150 幅图像用于训

练,计算每幅灰度图像自身包含灰度值为 0 或 255 的像素点个数,以该个数对 150 幅图像进行排序;在排好序的图像序列中,以 5 为步长,每 5 幅图像中随机挑选 1 幅图像,共 30 幅图像组成训练图像集 $\{TP_i, i=1,2,\cdots,30\}$;对每幅图像 TP_i ,依次施加 nl_j 浓度椒盐噪声得到加噪图像 $TP_{i,j}$,其中 $nl_j=5\%j, j=1,2,\cdots,19$;计算加噪图像 $TP_{i,j}$ 的特征值 w 和阈值 $T_{i,j}^*$ 组成三元组集合 $A=\{(nl_j, w_{i,j}, T_{i,j}^*), i=1,2,\cdots,30, j=1,2,\cdots,19\}$ 。于是对于任一幅噪声图像 P ,首先使用文献[13]方法计算该图像的椒盐噪声密度估计值 nl_p ,使用 nl_p 从三元组集合 A 得到子集合 $B=\{(nl_n, w_{i,n}, T_{i,n}^*), i=1,2,\cdots,30\}$,其中 $|nl_n-nl_p|=\min(|nl_j-nl_p|), j=1,2,\cdots,19$;再计算图像 P 的特征值 w_p ,使用 w_p 从集合 B 得到 $T_{m,n}^*$,使得 $|w_{m,n}-w_p|=\min(|w_{i,n}-w_p|), i=1,2,\cdots,30$,则本文方法对图像 P 去噪的阈值 T 设置为 $T_{m,n}^*$ 。本文方法具体实现时,可以在三元组集合 A 的 nl 列和 w 列建立索引,以提升查找效率。

1.1.3 仿真实验

为评价图像椒盐去噪方法的效果,我们采用客观的定量评价和主观的定性评价相结合的做法,其中定量评价指标选择峰值信噪比 PSNR。PSNR 定义为

$$PSNR = \frac{10\log_1 0.25 \ 5^2}{\frac{1}{N} \sum_{ij} (r_{ij} - x_{ij})^2} \quad (5)$$

式中, N 为图像像素总数; x_{ij} 和 r_{ij} 分别为参考图像和去噪图像恢复后图像中像素点 (i, j) 的灰度。PSNR 的值越大,说明去噪效果越好。

我们对 Berkeley 图像库 300 幅图像进行了一系列的仿真实验,运用 Matlab2012b 编程,实验运行在 2.4 GHz 英特尔酷睿 i7 四核 CPU、2 GB 内存的神舟笔记本上。选取 Berkeley 图像库的原因在于,该库中图像来源于自然界拍摄的图像,具有普遍性。本文方法与 MDBA 方法、MDBUTMF 方法、EFMI 方法、AGF 方法、ERMI 方法、DBCWMF 方法、SAWM 方法进行对比。首先将 Berkerley 图像库中 300 幅彩色图像转化为灰度图,将 300 幅图像随机划分为两个 150 幅图像子集合 $S1$ 和 $S2$,子集合 $S1$ 中图像用于训练本文算法,子集合 $S2$ 中图像用于仿真比较。依次对子集合 $S2$ 中图像添加 10%,20%,30%,...,90% 椒盐噪声,使用各种方法对加噪图像进行去噪处理。表 1 展示了各种方法对 150 幅图像去噪的平均结果。

表 1 各种方法对 150 幅图像的平均 PSNR(dB) 比较

$d\%$	MDBA	MDBUTMF	EFMI	AGF	ERMI	DBCWMF	SAWM	本文方法
10	36.133 2	36.499 8	34.894 1	37.322 7	35.893 4	36.701 0	36.151 0	38.026 8
20	32.965 2	33.323 0	32.317 1	34.129 4	33.015 2	33.490 5	33.066 6	34.819 3
30	30.817 3	31.199 3	30.628 1	31.999 6	31.075 2	31.366 0	31.128 1	32.582 6
40	28.756 6	29.419 8	29.248 2	30.284 2	29.099 3	29.702 5	29.612 0	30.713 8
50	26.002 4	27.517 2	27.991 4	28.833 1	26.273 3	28.281 5	28.326 1	29.076 1
60	22.221 6	25.073 1	26.749 5	27.465 2	22.356 8	26.984 8	27.120 0	27.571 6
70	17.804 6	21.920 2	25.352 5	26.077 9	17.849 0	25.690 9	25.852 0	26.151 7
80	13.321 2	18.296 9	22.794 1	24.526 7	13.330 8	24.262 3	24.468 9	24.673 0
90	9.062 0	14.542 7	16.305 2	22.334 6	15.272 4	22.053 8	22.715 6	22.763 9

从表 1 可以观察到,在各个级别的噪声密度下,本文方法平均 $PSNR$ 值均高于其他方法。图 6 显示了各种方法对于图 4 中 5 幅图像的去噪结果。从图 6(a)(b) 可以看出,本文方法对于自身不含或较少包含灰度值为 0 或 255 像素点的图像,去噪效果与其他方法相当。而从图 6(c)(d)(e) 可以看出,随着图像自身包含 0 或 255 极值信号点越多,本文方法相对其他方法的去噪优势越明显。

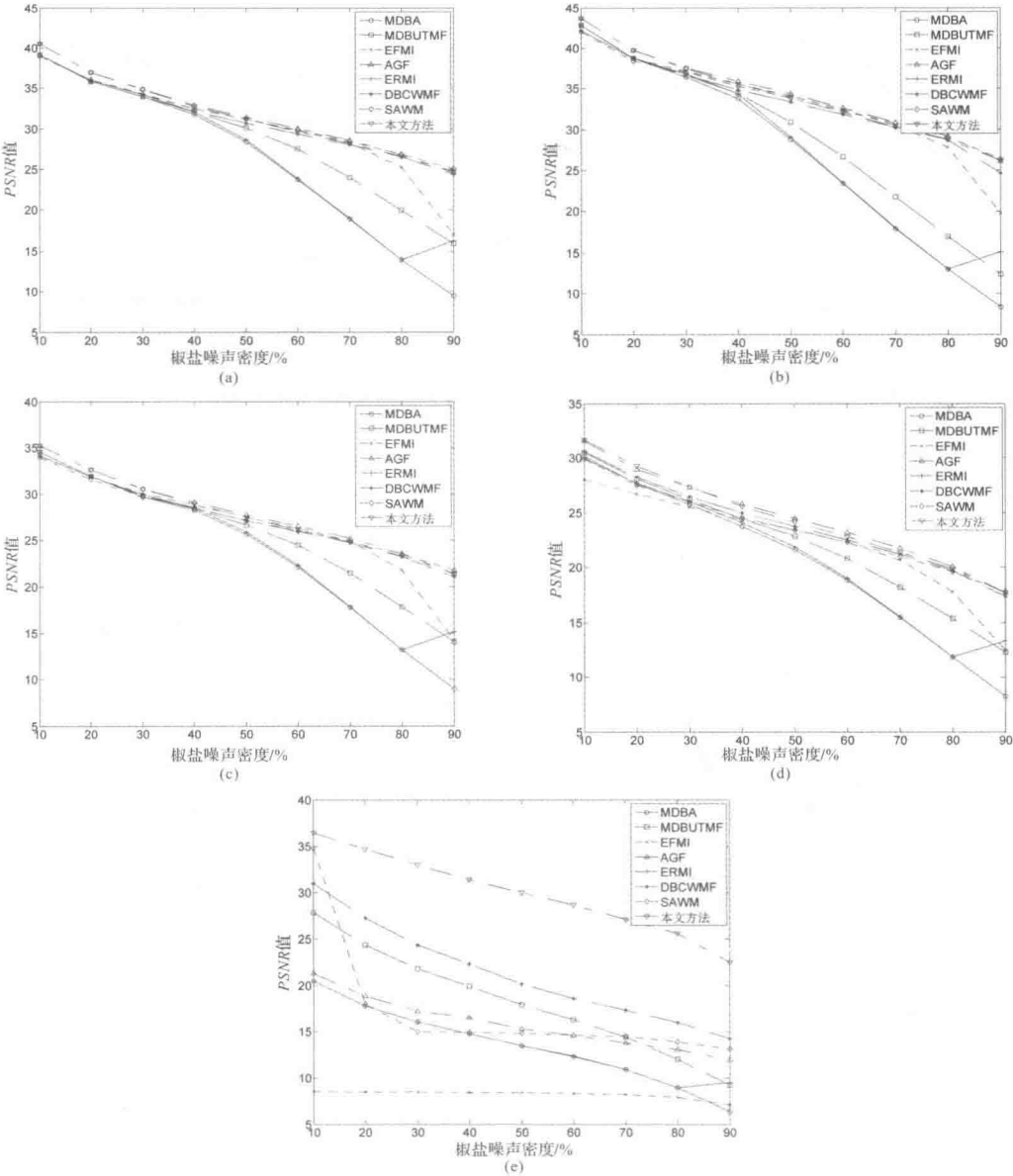


图 6 各方法对图 4 去噪 $PSNR$ 性能比较

在定量比较的基础上,图 7 和图 8 分别给出了中密度噪声(40%) 和高密度噪声(80%) 下各种方法的去噪恢复结果。从图 7 中可以看到,噪声密度为 40% 时,各种方法去噪结果的视觉差异较小,但仍然可以观察到 EFMI 效果最差,本文方法保留的图像细节最丰富,效果最佳。从图 8 中可以看到,噪声密度为 80% 时,本文方法对图像自身灰度为 0 或 255 像素点区域去噪能力最强,尤其是图 8 中最后一行的去噪图像,可以看到本文方法的雪景区域去噪效果最好。

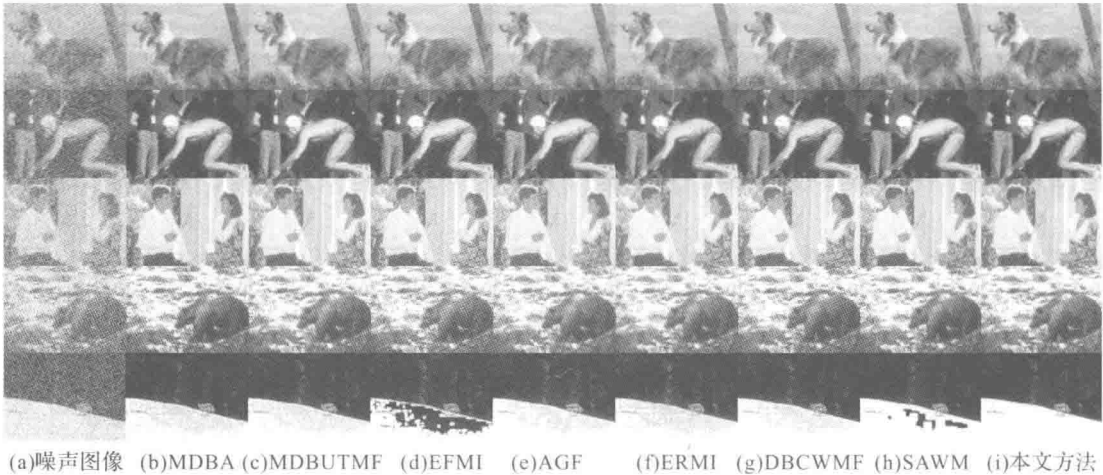


图 7 40% 椒盐噪声下图像去噪结果比较

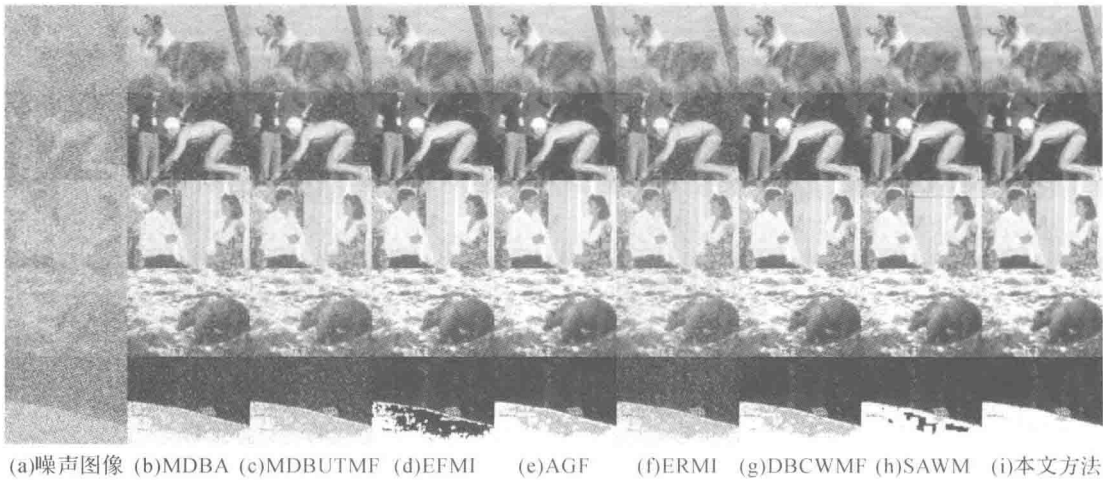


图 8 80% 椒盐噪声下图像去噪结果比较

1.1.4 结论

本文深入分析了当前几种图像椒盐去噪方法的原理,指出滤波窗口尺寸的合理选择是影响图像椒盐噪声去噪效果好坏的关键因素。为此,提出了一种基于自适应滤波窗的距离加权图像椒盐噪声滤除方法。本文方法能够根据椒盐噪声密度估计以及图像自身的特性自