



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代计算机科学与技术教材系列

数字图像处理 (MATLAB版)

Digital Image Processing (MATLAB Version)



闫敬文 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
现代计算机科学与技术教材系列

TP391.41
1229
2007

数字图像处理(MATLAB 版)

闫敬文 著



国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书以概要形式讲述基本理论,并紧密结合实践应用研究。第1章是本课程的学习方法,介绍如何开展本课程的学习、新技术学习对策和工程训练推荐方式。第2章介绍小波分析和应用的基本理论。第3章是图像压缩编码。第4章是空间域内图像增强。第5章是频域内图像增强。第6章是小波域内去噪声滤波器,重点对小波域内图像增强技术进行了重点研究。第7章是数字视频处理技术,主要包括去隔行算法、运动检测和运动估计、运动补偿和压缩的常用方法,并对其中的部分内容进行了FPGA和DSP实现。第8章为图像融合技术。主要讲述基于小波技术和神经网络技术图像融合算法,并对主客观图像融合的质量评价标准进行全面比较研究,具有很深的研究背景。此部分内容具有理论意义和实际应用价值。提出的算法可完全应用到遥感图像和医学图像融合。第9章是图像图形学基本知识,以两个实例说明计算机图像图形学的实际开发应用技术。希望起到举一反三的作用。

本书以精缩的理论知识、实践教学和工程训练相结合,可以作为计算机应用、通信工程和电子工程专业高年级本科生、研究生、工程硕士、教师及工程技术人员学习数字图像处理和基本图形学技术的参考书或实验教学指导书,也可作为本科生和研究生的研究型课程教材。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理:Matlab版/闫敬文著. —北京:国防工业出版社,2007.2
(现代计算机科学与技术教材系列)
ISBN 7-118-04886-0

I. 数... II. 闫... III. 数字图像处理—计算机
辅助计算—软件包,Matlab—高等学校—教材
IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 144786 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 20½ 字数 380 千字

2007 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

《现代计算机科学与技术教材系列》 编审委员会

主	编	刘椿年	许满武		
执行副主编		陈国良	赵致琢		
编	委	王志英	康立山	刘大有	刘椿年
		许满武	宋方敏	林作铨	陈向群
		李师贤	陈国良	洪先龙	应明生
		陆汝占	傅育熙	赵致琢	唐常杰
		张明义	彭群生	朱 洪	周龙骧
		李立武	承恒达	李西宁	陈 溧
		阎瑞琪			

总 序

民众多好饮酒,中外概莫能外。酒馆和酿酒坊伴随饮酒客而起,人类对酒的喜爱造就了酒文化和一个庞大的产业。好酒能卖好价钱,能使文人诗兴大发,催生佳作,还能解人间百难。于是,酿天下名酒自然成为不少人的毕生追求。

怎样才能酿出好酒呢?国人的看法不尽相同。崇信洋酒的人主张引进国外的生产工艺,学习洋人的生产和经营理念,而喜欢国酒的人则主张走自己的路,但不排除借鉴国外先进的科学技术和管理经验。这样的争论或许永远不会终结,但外国人重视科学酿酒,这一点是值得我们学习和借鉴的。

计算机科学教育,如同酿酒工业的生产一样,科学办学迄今还只是部分学者的一种理想。与国内一样,国外的计算机科学教育并没有像他们的科学酿酒业一样,实现科学办学。也许科学办学要远比科学酿酒困难得多。譬如,怎么实现科学办学?甚至怎么推出一套科学的系列教材都是一篇大文章。

这套教材的创作始于教育部面向 21 世纪教育与教学改革 13-22 项目的研究。2000 年,在 13-22 项目研究工作即将完成之际,一些学者开始认识到面对计算机科学与技术的高速发展,我们亟需一套体现科学办学思想、反映内涵发展要求、服务教育与教学改革、参与构建学科人才培养科学体系的系列教材。强调系列教材是因为那时已经意识到计算机科学教育本质上是一项科学活动,但长期以来教师向学生传授科学技术知识的方式方法科学性不强。由于高等教育几百年来一直沿袭经验方式而非科学方式办学,大学教学的方式方法仍然还停留在古代作坊式的阶段,只不过今天使用的教学技术手段先进而已。在经验办学方式下,无论是研究型大学还是教学型大学,由于种种原因,教学活动的全过程存在着太多的漏洞和质量上的隐患。科学办学是对高等教育界传统的一个挑战,尽管在认识上,人们不难理解,科学办学是经验办学的最高形式,而经验办学应该成为科学办学的有益补充。

13-22 项目组积极探索,率先倡导科学办学理念,初步构建了一个体现科学办学思想,反映内涵发展要求的计算机科学一级学科人才培养科学理论体系,为学科专业教育探索新天地,走向科学办学和发展学科系列教材提供了一个认知基础。

长期以来,学术界一直在探索计算机专业教育的规律。ACM 和 IEEE/CS

的专家小组在走访了全美 400 多位著名计算机科学家的基础上,以学科方法论作为切入点开展教学改革理论研究,于 1989 年发表了具有开创性意义的成果,尽管他们并未意识到自己的工作是以学科方法论的研究作为切入点,探讨内涵发展的道路。1990 年前后,在迷宫中探索行走的专家小组经大师和精英群的指点实际上已经摸到了走出迷宫的大门,却没有打开并进入一个崭新的天地。这一点从他们在 2000 年网上公布的 CC2001 报告最先删除了 CC1991 报告中有关学科方法论的内容便不难看出(注:后经中国人的提醒又补充写入)。

与此同时,中外教材建设也一直没有停止探索,国内外出版社先后出版了种类繁多的计算机类专业教材。这些教材中不乏精品和上乘之作,但难觅具有鲜明特色、真正一体化设计并且符合科学办学要求的系列教材。多数丛书和系列教材基本上还只是出版社对出自作者个人创作的教材通过冠名“丛书”或“系列”的方法汇集出版以求强势效应。尽管如此,不少优秀作者和学者理所当然地进入了编审委员会的视线。西方发达国家在计算机科学学科的领先优势曾使许多人不自觉地目光转向海外,试图从世界名牌大学使用的教材中去寻找蓝本。遗憾的是与国内一样,经验办学并没有使西方大学在教材建设方面摆脱“各自为政,各行其是”的阴影。此时,我们如梦初醒,毕竟科学办学是前无古人的一项创举。随着学科的不断深入,在迈向深蓝知识海洋的今天,外国人未必比中国人在科学办学方面占有更多天时地利的优势。不经意中的发现使我们惊喜和激动,同时深感责任重大且平添担忧:即使能够写出系列教材的一体化设计,我们是否真能确认这项改革的正确性?真能推出科学的系列教材?可是,除了实践和试验,我们别无捷径可循。

从 20 世纪 50 年代起,我国几代学者苦苦追赶了西方发达国家半个世纪,依靠引进、学习、跟踪、改进、创新的高新技术发展思维定式曾使我们付出了高昂的学费和沉重的代价。固然,在高新技术领域,依靠“引进”和“泊来”,取得了长足的发展和进步,填补了不少国内的“空白”,但在水准上始终与发达国家保持着一段距离,一种在行业内部看来时长时短、难于逾越的差距。这种差距主要表现在对高精尖学科的发展我们缺乏思想、概念、理论、方法、技术、制度、规范和设计的原始创新和发展模式的全面创新,研究工作总是跟在别人后面亦步亦趋。我们缺乏在发展中另辟蹊径,走自己道路的机制和氛围,迷信洋人,盲目追随西方学术发展道路的习惯思维方式几乎导致国人失去了创新的机能,这是一个国家和民族发展高新技术学科和产业致命的硬伤。

高新技术领域竞争的成败,关键取决于人才与文化。现代科学技术的创新,已不单纯是一个学术问题,还是一个与文化、人文密切相关的问题。科学教育求真求是,技术教育求实求精,人文教育求灵求善,艺术教育求美求新。没有科学技术知

识,人的认识和生活难免停留在原始社会,而没有人文精神和艺术的陶冶,科学技术的创新必然失去力量的源泉。可见,走自己的道路,发展中国的科技创新体系,在某种程度和意义上,成败的关键在于大学能否真正培养一大批高素质的人才。高等学校要实现培养大量高素质计算机专业人才的目標,需要在前进中不断地进行系统的、科学的总结和深刻的反省,需要对遇到的问题进行科学的分析和判断,作出正确的决策。

工欲善其事,必先利其器。倘若教师不能在思想上摆脱陈旧的思维定式,用先进的理念武装头脑,勇于探索前人没有走过的发展道路,那么,即使采用了世界一流大学的全套教材,恐怕也难于培养出世界一流的人才。中西文化、人文传统之间的差异之大,中外教育思想之间的差异之大使得中国教育的现代化决不是一个引进和模仿就可以轻易解决的问题。教师的职业不是贩卖知识。授业、传道、启蒙、解惑技能的高低,不仅取决于教师知识的广博和深厚,更重要的在于远见、卓识、探索、创新、敬业、求真的本领和身先垂范。

身处 21 世纪,面对国家的期望,处在科学技术发展浪潮之巅的计算机教师,任重道远。我们就像茫茫林海中的探险者,环顾苍翠的群山,犹如身陷迷宫一样。计算机科学教育,敢问路在何方?其实,我们的出路或许只有一条,那就是系统总结前人的经验和教训,设法努力登上山峰,居高眺望,探寻走出林海的希望之路。

2001 年初,《现代计算机科学与技术教材系列》编审委员会正式成立,一年后,计算机科学一级学科系列教材一体化设计研究报告的第一部分在《计算机科学》杂志第 6 期长篇发表。编审委员会为系列教材的出版制定了严格、详细的操作程序,并通过多种渠道,选择了第一批教材的作者。在体制创新方面本次教材出版设立了学术编审人,跟踪编审教材的创作内容,力求教材的尽善尽美。可以预期,《现代计算机科学与技术教材系列》将是一套基于计算机科学一级学科人才培养科学理论体系,体现内涵发展和科学办学要求,反映一体化设计的系列教材建设的一个尝试。然而,就像任何新生事物一样,她难免存在缺点和不足,我们诚恳地希望关心和使用本套系列教材的师生、读者,在使用中将批评或建议留下来,帮助改进教材建设工作,修正存在的不足之处。

一些学者对于一级学科人才培养科学理论体系的能行性表示怀疑。带着这个问题,在贵州大学和国内部分高等学校和一大批知名学者的支持下,从 1999 年夏天起在贵州大学连续举办了“计算机科学与技术高级研讨班”,向(博士)研究生和中青年教师陆续开设了研究生核心学位课程“高等计算机体系结构”、“并行算法设计基础”、“分布式算法设计基础”、“高等逻辑基础”和“形式语义学基础”,后来又进

一步开设了本科生重点课程“算法设计与分析”、“数理逻辑基础”、“可计算性与计算复杂性”、“形式语言与自动机理论”等一系列课程。5年来,高级研讨班受到全国广泛关注、响应和支持,先后吸引了几十所大学三百多人次的师生参加听讲和学习,目前已经发展为由教育部批准资助、15所大学联合主办的高级研讨班。实践证明,高级研讨班为中国高等学校计算机科学教学改革和教育质量的提高正在发挥其独特的作用,并得到国内外一大批学者的充分肯定和好评。高级研讨班正在成为按照一级学科办学和教学改革的要求,对计算机科学系教师进行高起点、高标准、正规化研究生学位课程和本科重点课程培训的一个师资培训模式,有可能对未来计算机科学教育产生深远的影响。试想,如果高等学校的教师和培养的研究生普遍具有高级研讨班所开设的3门~4门课程的基础,不仅科学办学面临的主要困难迎刃而解,各大学科研学术队伍的素质也将得到显著提高。

一些学者对高起点研究生学位课程的必要性提出疑问:是否这些课程都要学习?我们认为,应该看到在高等教育界从来就存在着两种不同的教育观,一种是专才教育观,一种是通才教育观。持这两种教育观的人尽管都主张基础知识的重要性,但在对学以致用原则的理解和解释方面存在差异。一般地说,专才教育观主张在一定的基础上,通过深入钻研某一方向的学问,逐步扩展和加深自己的知识,缺什么基础补什么知识,学以致用,逐步成长为一个学科的专家。通才教育观则不同,它不主张在具备一定的基础后,就匆忙沿着某一方向钻研学问,单线独进,而是主张在一级学科的范围,通过尽可能系统地掌握从事本学科各个重要方向的研究所需要的基础知识,能够站在学科的各个至高点上,沿着学科的一个方向,以单线独进、多线并进或整体推进的观点,逐步扩展和加深一级学科的知识,融会贯通,学以致用,逐步成长为一个学科的专家。两种教育观都有其代表人物。迄今为止,高等教育中研究生教育主要以培养专才为主,专才教育观是主流。但是,两种不同的教育观各有其特点。一般地说,当一个学科的发展处于早期时,专才教育比较容易跟上学科的发展步伐,比较容易出成果,也比较容易迅速地达到较深的学术层面。而当一个学科的发展比较成熟,发展速度比较平稳时,通才教育的优势就比较明显。因为,通才教育培养的人才可以在一级学科的范围比较容易地向任何一个方向转向。特别是在胜任高难度重大创新人才的培养方面,在出综合性的大成果方面,在创立一套科学理论和开辟一个研究方向方面,通才教育的多种优势往往是专才教育所不具备的。当然,两种教育观谁优谁劣迄今并无定论,根据两种教育观的特点和现实情况,选择哪一种教育观实际仅反映了师生的一种选择策略。不过,实践告诉我们,尽管通才教育观的操作实现比较困难,但作为师资补充的来源,通才教育培养的人才更容易适应大学教学与科研的双重要求,理应更多地

受到研究大学的青睐。在科学技术日益深化、高度分化又高度综合的今天,放眼未来,在高精尖学科中,通才教育观无疑有着更为宽广而美好的发展前景。

伴随着学科教学改革理论与实践探索的推进,社会热切地期待着一套与教学改革方案相配套的高质量系列教材问世。总结过去教材建设成功和失败的经验教训,使我们清楚地认识到:教材建设必须建立在科学研究基础之上,按照科学的运作程序,动员在第一线从事科学研究、功底深厚、学有所长的优秀教师参与到教材的创作中来,才有可能推出高质量并符合学科发展要求的系列教材。我们的主张是:“让大学中的科学家来创作教材。”

冬去春来,年复一年。当我们终于从跟踪、学习、盲从西方大学教程的发展模式中走出时,感受到了一种从未有过的释然与激动,一种走自己的发展道路,独立自主的自豪与喜悦。这条道路虽然艰难,但前景光明。连续5年在贵州大学举办的全国计算机科学与技术高级研讨班的成功实践更进一步地坚定了我们内涵发展模式与科学办学之路的认识与追求。

今天,经过编审委员会、作者和出版社的共同努力,《现代计算机科学与技术教材系列》终于开始陆续出版发行。在新年即将到来的时候,我们怀着喜悦的心情,向祖国和人民,向计算机科学界献上一份完全由华夏学者按照他们对高等教育和计算机科学的理解与认识,倾力创作的新年贺礼,一份建立在科学研究基础之上的教育与教学改革最新成果。

新的世纪已经到来,愿《现代计算机科学与技术教材系列》的出版能够为新一代的莘莘学子攀登现代科学技术的高峰成就未来。

《现代计算机科学与技术教材系列》编审委员会
2006年10月

自序

随着数字化时代的到来,数字图像处理显得十分重要。本课程是一门研究型课程,将以高密度压缩式教学方式,浓缩大量的理论和实践教学内容,可配合 Castleman 和 Ganzalez 等经典理论教材使用。

本书以概要形式讲述基本理论,并紧密结合实践应用研究。第 1 章介绍本课程的学习方法,论述如何开展本课程的学习、新技术学习对策和工程训练推荐方式;第 2 章介绍小波分析和应用的基本理论。小波分析在图像处理和应用中占有越来越重要的地位,所以本章主要以其常用的基本理论和二代提升小波为主进行介绍。第 3 章是图像压缩编码。本章主要介绍图像压缩中常用的矢量量化压缩、基于小波变换的零树编码(EZW)和集复合树编码压缩(SPIHT)方法,且侧重实时应用实现。研究包括基于小波变换的对块矢量压缩编码、KL 变换在三维光谱数据压缩中的应用等诸多内容。KLT+小波变换压缩方法不局限于光谱数据压缩,也可以应用于其他图像压缩应用,可直接应用于读者研究中。最后给出了本章中应用 MATLAB 语言实现相关程序的源代码。学过这部分内容的读者,可以跳过这部分内容直接进入应用或提高部分学习。第 4 章为空间域内图像增强。图像增强也是图像处理中广泛的应用技术之一。传统的空间域增强有均值滤波、线性滤波、梯度倒数加权滤波、中值滤波和对比度调节、直方图均衡化和规定化等方法。在此基础上,本章引进了 digital TV 模型滤波、边缘检测和噪声分类相结合的线性滤波器、USM 增强滤波以及提出了基于个数判断脉冲噪声的中值滤波和一种自适应门限的中值滤波两种新方法。通过对目前图像中含有噪声模型的分析和对已经有的成熟增强方法的研究,让读者了解和学会如何设计各种数据滤波器,并对各种滤波器的性能全面了解。第 5 章是频域内图像增强。主要讲授用于频域内增强的巴特沃斯滤波器和同态滤波器的设计方法和实现技术,包括频率域图像增强的数字滤波器设计,如根据不同的要求设计的低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器和同态滤波。第 6 章是小波域内去噪声滤波器,重点对小波域内图像增强技术进行了重点研究。包括小波变换域内传统的软门限和硬件门限阈值去噪声方法和新提出的若干改进新方法。这些新方法是当前的主流去噪声方法,具有较强的应用性。在对 HMT 模型分析的基础上,对利用相邻尺度小波系数的相关性可以较好地提取

图像的细节的 context 模型进行了分析,提出了基于尺度空间和 context 模型相结合的自适应小波去噪滤波器。本章对遥感图像处理和應用进行了研究,包括 SAR 图像增强、低对比度图像增强与目标提取等遥感图像处理常用的技术。第 7 章是数字视频处理技术。主要包括去隔行算法、运动检测和运动估计、运动补偿和压缩常用方法,并对其中的部分内容进行了 FPGA 和 DSP 实现。具体压缩方法主要是在了解了基于小波变换技术的集复合树分割 SPIHT 压缩编码(SPIHT)方法的基础上,进行硬件实现的技术。具体包括应用 C 语言进行基于小波变换视频压缩的 DSP 技术和实现。硬件部分的内容主要针对对硬件感兴趣的读者精心设计的,特别是 DSP 和 FPGA 两个硬件例子都已经测试通过,这对学习和了解这部分知识很有帮助。第 8 章为图像融合技术。主要讲述基于小波技术和神经网络技术图像融合算法,并对主客观图像融合的质量评价标准进行全面比较研究,具有很深的研究背景。此部分内容具有理论意义和实际应用价值。提出的算法可完全应用到遥感图像和医学图像融合。第 9 章为图像图形学基本知识,以两个实例说明计算机图像图形学实际开发应用技术,可以起到举一反三的作用。第一个例子具体以 6 个基本类和每个类中的若干成员函数就可实现图形技术的基本功能,内容简洁明了,体现本书内容高度浓缩的特点。可以为读者提供完全的 VC++ 代码进行学习和练习。读者通过钻研这两个例子,可以进行计算机图形学知识的学习和初步的开发研究工作。附录主要介绍图像格式读写和 Matlab 应用基本技巧。对应用 Matlab 进行绘图和进行 VC++ 混合编程的同学,可以认真读这一章。根据这一章内容,结合最后附的综合训练题练习,可使读者基本上掌握这部分内容。

通过全书的内容学习和编程实验,可以将本书中的内容做成一个初步的软件包,可为进一步学习和研究时应用,具有较强的系统性。书中所涉及的全部是现代数字图像处理中的压缩编码,图像增强等重要的研究内容,且是紧密结合应用研究展开的。虽然从基础知识方面不是很全面和系统,但力求以点代面,为读者学习和研究开拓新方法和新思路。兵法云:“伤其十指,不如断其一指”。本书以工程训练为背景,以“断其一指”为宗旨,以创新能力培养为目标,具有较强的科学性。正所谓“百闻不如一见,百见不如一练,百练不如一专。”看知识多了就不要再看了,需要练习。练习多了不如做成一个完整项目。能力从实践训练中來,不是学出来的。本书中多数内容都是多年教学和科研究中实践经验的积累。

本书以精缩的理论知识、实践教学和工程训练相结合,可以作为计算机应用、通信工程和电子工程专业高年级本科生、研究生、工程硕士、教师及工程技术人员学习数字图像处理和基本图形学技术的参考书或实验教学指导书,也可以作为本科生和研究生的研究型课程教材。书中包含很多内容,不同学校不同专业可以根

据自己的侧重点进行适当取舍。全部内容可以作为 60 学时讲授。其中很多内容可以作为实验教学内容,不用再辅之以实验指导书,这是本书的另一个特点。书中附有大量的实例,采用 Matlab 和 VC++ 编程,全部代码均以调试通过。因篇幅有限,有些相关内容和源程序代码放在作者本人网页中供下载。需要源程序代码的读者可先用邮件联系:xdyjwen@126.com,yjwen@xmu.edu.cn。作者的个人网页网址:<http://isip.xmu.edu.cn>,<http://NAEC.stu.edu.cn>

特别感谢清华大学章毓晋教授对本书提出宝贵建议!感谢卢刚、许卫全、黄敏、林媛、余见和屈小波等同学对书中的部分程序仿真和部分内容的整理工作。

作者

2007 年 1 月于厦门

目 录

第 1 章 数字图像处理学习方法	1
1.1 数字图像处理技术学习对策	1
1.2 新知识和技术进展学习攻守策略	2
1.3 工程训练或研究课题推荐学习方式	3
1.4 数字图像处理技术的应用前景	4
第 2 章 小波分析基本理论	6
2.1 Fourier 变换到小波分析	6
2.2 积分小波变换和时间-频率分析	7
2.3 小波的多分辨率分析与分解重构	8
2.4 Mallat 算法	11
2.5 用提升方法构造的整数小波	13
第 3 章 图像处理中的压缩编码/解码	16
3.1 标量量化的 JPEG 压缩编码	17
3.2 矢量量化编码	19
3.3 基于小波变换的图像压缩	20
3.3.1 编码原理	21
3.3.2 图像统计特性和适合图像数据压缩小波基的确定	23
3.3.3 基于小波变换的零树编码和集复合树编码压缩	24
3.3.3.1 零树编码(EZW)	24
3.3.3.2 集分割复合树(SPIHT)编码	27
3.3.4 基于小波变换的对块零树编码压缩	30
3.3.4.1 对块零树编码原理	30
3.3.4.2 实验结果和结论	32
3.4 小波树结构快速矢量量化编码方法	34
3.4.1 小波树及其树结构矢量量化	35
3.4.2 小波树结构矢量量化压缩编码	37

3.4.3	小波树结构矢量量化编码快速算法实现	37
3.5	码矢量激励预测编码	39
3.5.1	预测图	40
3.5.2	块截短编码	42
3.5.3	改进块截短编码	43
3.6	WT+IBTC 压缩研究实验和结论	44
3.7	三维多光谱数据压缩	45
3.7.1	多光谱遥感图像 KLT 及其统计特征分析	46
3.7.2	KLT 码流分配的方法设计	47
3.7.3	实验结果和讨论	49
3.7.3.1	KLT+JPEG 压缩	49
3.7.3.2	基于 KLT/WT+SFCVQ 三维谱像数据压缩	50
3.7.3.3	SFCVQ 压缩编码	51
3.7.3.4	实验结果与讨论	52
3.8	本章部分程序	54
	习题	62
第 4 章	空间域内图像增强	63
4.1	均值滤波	63
4.1.1	均值滤波的基本理论	63
4.1.2	均值滤波器	65
4.2	线性加权滤波	66
4.3	梯度倒数加权滤波	67
4.4	基于 Digital TV 模型的线性滤波器	69
4.4.1	TV 模型	69
4.4.2	Digital TV 线性滤波器	69
4.5	边缘检测和噪声分类相结合的线性滤波器	72
4.5.1	图像边缘检测算子	72
4.5.1.1	灰度梯度算子	72
4.5.1.2	Roberts 交叉算子	73
4.5.1.3	Sobel 算子	73
4.5.1.4	Kirsch 算子	74
4.5.1.5	Laplace 算子	74
4.5.1.6	分块平均的边缘检测方法	74
4.5.2	分块平均边缘检测和噪声分类相结合的滤波器	76

4.6	中值滤波器	78
4.7	基于个数判断脉冲噪声的中值滤波器	79
4.8	自适应门限的中值滤波器	82
4.9	图像增强	83
4.10	直方图处理	85
4.10.1	直方图均衡化	85
4.10.2	直方图规定化	86
	小结	87
	习题	87
第5章	频率域内图像增强	88
5.1	用巴特沃斯(Butterworth)滤波器进行图像滤波设计	88
5.1.1	点阵图像的频谱特性及滤波方案	88
5.1.2	模拟巴特沃斯低通滤波器设计	89
5.1.3	模拟低通滤波器转变为数字低通滤波器	90
5.1.4	数字低通、高通、带通滤波器	90
5.1.5	巴特沃斯滤波器实验结果	91
5.2	同态滤波	92
5.2.1	图像形成模型	92
5.2.2	同态滤波器	92
	小结	94
	习题	94
第6章	小波域去噪滤波器	95
6.1	门限相关的小波去噪滤波器	95
6.1.1	Donoho 软门限去噪滤波器	95
6.1.2	硬门限去噪滤波器	97
6.1.3	GCV 阈值和 SURE 阈值软门限去噪滤波器	98
6.1.4	Bayes 估计阈值软门限去噪滤波器	100
6.2	基于 Context 模型的空间自适应小波去噪滤波器	101
6.3	基于尺度和空间混合模型的小波图像去噪滤波器	104
6.4	基于隐马尔可夫树模型的小波去噪滤波器	107
6.5	基于尺度空间和 Context 模型相结合的自适应小波去噪滤波器	111
6.6	SAR 图像处理	116
6.6.1	SAR 图像增强系统结构设计	117

6.6.2	实验结果和结论	118
小结	121
习题	121
第7章	数字视频处理	122
7.1	运动估计	122
7.1.1	基于像素的运动估计	122
7.1.2	基于块的运动估计	123
7.1.2.1	相位相关算法	123
7.1.2.2	块匹配算法	123
7.1.3	多分辨率运动估计	127
7.1.4	几种运动估计方法的比较	128
7.2	运动补偿	130
7.2.1	运动补偿方式	131
7.2.2	多假设运动补偿	132
7.2.3	重叠块运动补偿	133
7.2.4	重叠可变块运动补偿	133
7.3	去隔行算法	135
7.3.1	非运动补偿的去隔行算法	135
7.3.1.1	线性滤波去隔行	135
7.3.1.2	非线性滤波去隔行	136
7.3.2	运动补偿的去隔行算法	137
7.3.2.1	时域反向投影算法	137
7.3.2.2	时间递归算法	138
7.3.3	其他去隔行算法	139
7.3.3.1	GAH 去隔行算法	139
7.3.3.2	MADM 去隔行算法	140
7.3.3.3	AMMC 算法	142
7.3.4	仿真结果	146
7.4	去隔行算法 FPGA 实现	149
7.4.1	VLSI 设计方法简介	150
7.4.2	去隔行算法 FPGA 实现	150
7.4.2.1	运动检测模块	151
7.4.2.2	插值系数计算模块	152
7.4.2.3	帧内插值模块	153

7.4.2.4	帧间插值模块	154
7.4.2.5	自适应插值模块	154
7.4.2.6	输出控制模块	155
7.4.2.7	系统仿真综合结果	156
7.5	小波 SPIHT 编码方法 C 语言及 DSP 实现	157
7.5.1	SPIHT 编码的 C 语言实现	157
7.5.2	小波 SPIHT 编码在 C6701 评估板上实现	159
7.5.2.1	WT6701PA DSP 评估板介绍	159
7.5.2.2	TMS320C6701 DSP 结构	160
7.5.2.3	流水线性能考虑事项	162
7.5.2.4	C6701 DSP 程序开发流程和 CCS 简介	164
7.5.2.5	在 WT6701PA 板上实现图像高速小波变换	166
7.5.2.6	SPIHT 编码在 WT6701PA 板上实现	170
7.5.2.7	WT6701PA 板和主机之间的通信	175
第 8 章	图像融合算法	180
8.1	图像融合技术的发展过程	180
8.2	基于小波变换图像融合的基本原理	181
8.3	融合效果性能评价指标	182
8.3.1	均值和标准差	182
8.3.2	熵	183
8.3.3	平均梯度	183
8.3.4	互信息	183
8.3.5	归一化指标	184
8.4	高频域融合算法研究	184
8.4.1	均值法	185
8.4.2	最大值法	185
8.4.3	基于区域的最大值法	186
8.4.4	基于区域能量的图像融合算法	187
8.4.5	基于边缘强度的自适应融合法	189
8.4.6	基于 PCNN 的图像融合算法	190
8.4.6.1	PCNN 的基本模型	190
8.4.6.2	图像融合中的 PCNN 设计	191
8.4.6.3	基于 PCNN 的高频域融合算法实现	192
8.4.7	改进的 PCNN 图像融合算法	195
8.4.8	高频域内不同融合算法的比较	196