

21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术



数字图像处理 及其应用

张长江 编著



清华大学出版社

· 013046170

21世纪高等学校规划教材 | 计

TN911.73-43
30

数字图像处理及其应用

张长江 编著



北航

C1652920

清华大学出版社
北京

TN911.73-43
30

071840810

内 容 简 介

本书是浙江师范大学重点建设教材,本书的适用对象是高年级本科生和研究生。本书在讲述基础知识的同时结合科研项目中的实际例子辅助加深学生对所讲述的基础知识的理解。本书1~9章是数字图像处理的主体内容介绍,后面的10~14章是结合目前图像处理领域的发展补充的一些图像处理相关领域的新方法和新技术及应用,主要针对研究生编写,本科生可以适当选学部分内容。本书涵盖了目前数字图像处理领域绝大多数研究课题;注重新方法、新技术在图像处理领域的应用,侧重通过实例加深对课堂知识的理解;书中所举的绝大多数实例均是作者多年科研工作的实际研究成果;本书配相关的实验指导书、教学授课课件、课后习题参考答案。如果需要,可以发邮件(zcj74922@zjnu.edu.cn)索取授课课件和课后习题参考答案。

本书可作为高校计算机科学与技术、电子工程、通信工程、自动控制、医学、遥感、地质、矿业、气象、农业等相关专业本科生和研究生教材,也可供相关领域的大学教师、科研人员和工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理及其应用/张长江编著. —北京:清华大学出版社,2013.6

(21世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术)

ISBN 978-7-302-30754-9

I. ①数… II. ①张… III. ①数字图像处理—高等学校—教材 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 285909 号

责任编辑:闫红梅 李 晔

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁 毅

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:30.5

字 数:762千字

版 次:2013年6月第1版

印 次:2013年6月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:46.00元

产品编号:042114-01

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和教学方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人: 魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

数字图像处理是一门综合性很强的课程,涉及计算机、电子、通信、数学、光学、自动控制、生物医学、物理学等众多学科。近年来随着计算机科学、应用数学、人工智能、机器学习及其他相关学科的发展,数字图像处理在理论研究和实际工程应用等方面均取得了长足的进步,已经在工业、农业、医学、军事、航天等领域获得了成功的应用。

本书是浙江师范大学重点建设教材,融合了作者多年教学和科研成果。国内外关于《数字图像处理》的教材比较多,电子工业出版社、机械工业出版社、清华大学出版社、北京交通大学出版社、北京理工大学出版社、武汉大学出版社、北京航空航天大学出版社、科学出版社、高等教育出版社等均出版或翻译过该门课程的国内外教材。纵观同类教材,虽然其中不乏精品,但是可以发现绝大多少教材都是针对本科生教学,适合研究生教学的很少。另外,针对本科生教学的同类教材中的实例比较少或者没有或者都是非常经典的实例,基本上各类同类教材都很相似,没有把当前一些图像处理领域新方法、新技术及时引入其中。其中我国从国外引进的同类教材中冈萨雷斯主编电子工业出版社出版的教材堪称经典,已经修订多次,深受国内外高校欢迎。但是其中的应用实例和新方法新技术更新也不是很及时,而且基本上没有完整的图像处理综合应用的实例,我们主编的这册教材争取弥补这一空缺,通过各章引入实际科研项目的应用实例和新方法、新技术,拓展学生视野并加深其对所学知识的理解。

本书的1~9章适合高年级本科生教学,10~14章内容主要面向研究生教学,高年级本科生可以从中选学部分内容。10~14章的内容目前各类同类教材中非常少见,而且其中大多数的应用实例都是从实际科研项目中抽取的实际案例,具有比较鲜明的特色。

本书可作为高校计算机科学与技术、电子工程、通信工程、自动控制、医学、遥感、地质、矿业、气象、农业等相关专业本科生和研究生教材,也可供相关领域的大学教师、科研人员和工程技术人员参考。

本书在编写过程中,参考了大量国内外书籍和学术论文以及网上资料,本人对本书中所引用论文和书籍的作者一并表示感谢。浙江师范大学硕士生陈源参与第1、2、3、10、11、12章部分内容文本录入、校对、排版及部分程序编写工作,硕士生杨银环参与第4、5、7、9、14章,硕士生傅仙伟参与第6、8、13章部分内容的文本录入工作,在此对以上人员一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

张长江

2012年8月于浙江师范大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数字图像处理的概念	1
1.2 数字图像处理的发展历程	2
1.3 数字图像处理在各个领域的应用概述	4
1.3.1 数字图像在医学领域的应用	5
1.3.2 数字图像在生物领域的应用	6
1.3.3 数字图像在航天领域的应用	8
1.3.4 数字图像在气象领域的应用	11
1.3.5 数字图像在农业领域的应用	12
1.3.6 数字图像在工业领域的应用	14
1.4 数字图像处理包括的主要内容	18
参考文献	23
习题	23
第 2 章 数字图像处理的基础知识	24
2.1 人眼的视觉特性	24
2.1.1 视觉感知要素	24
2.1.2 光和电磁波谱	28
2.1.3 图像感知和获取	30
2.2 图像的数字化	32
2.2.1 图像取样和量化	32
2.2.2 数字图像表示	34
2.2.3 空间和灰度级分辨率	35
2.3 像素间的基本关系及处理方法分类	39
2.3.1 相邻像素	39
2.3.2 邻接性、连通性、区域和边界	39
2.3.3 距离度量	40
2.3.4 基于像素的图像操作	41
2.4 图像显示	42
2.4.1 半调输出	42
2.4.2 抖动技术	42
2.4.3 图像存储与格式	43

2.5 颜色视觉和色度学	43
2.5.1 颜色分解	43
2.5.2 色度图	44
2.5.3 颜色模型	44
2.5.4 颜色模型转换	45
参考文献	47
习题	47
第3章 图像增强	49
3.1 图像增强的目的和意义	49
3.2 基本的灰度变换法	50
3.2.1 图像反转	50
3.2.2 对数变换	51
3.2.3 幂次变换	52
3.2.4 分段线性变换函数	54
3.3 直方图处理法	56
3.3.1 直方图均衡及应用举例	57
3.3.2 直方图规定化及应用举例	62
3.4 图像平滑	68
3.4.1 空间域图像平滑及应用举例	68
3.4.2 频率域图像平滑及应用举例	74
3.5 图像锐化	82
3.5.1 空间域图像锐化及应用举例	83
3.5.2 频率域图像锐化及应用举例	86
参考文献	89
习题	89
第4章 图像复原与重建	90
4.1 图像复原与重建的目的和意义	90
4.2 图像退化与复原的数学模型	90
4.3 逆变换图像复原及应用举例	91
4.4 空间域滤波器图像复原及应用举例	92
4.4.1 均值滤波器	92
4.4.2 顺序统计滤波器	93
4.4.3 自适应滤波器	94
4.5 频率域滤波器图像复原及应用举例	97
4.5.1 带阻滤波器	97
4.5.2 带通滤波器	98
4.5.3 陷波滤波器	99

4.5.4 最佳陷波滤波器·····	101
4.6 最小均方误差滤波(维纳滤波)器图像复原及应用举例·····	102
4.7 图像重建·····	104
4.7.1 投影重建的原理·····	104
4.7.2 二维图像重建及应用举例·····	105
4.7.3 三维物体重建及应用举例·····	106
参考文献·····	107
习题·····	107
第5章 图像压缩 ·····	109
5.1 图像压缩基础知识·····	109
5.1.1 图像压缩的目的和意义·····	109
5.1.2 图像冗余的种类·····	109
5.1.3 图像压缩质量的评价·····	113
5.2 常见的压缩方法·····	114
5.2.1 霍夫曼编码·····	114
5.2.2 算术编码·····	116
5.2.3 位平面编码·····	116
5.2.4 小波域编码及应用举例·····	118
参考文献·····	120
习题·····	120
第6章 图像分割 ·····	121
6.1 概述·····	121
6.2 直线检测·····	122
6.3 边缘检测·····	123
6.3.1 基本边缘检测算子及应用举例·····	126
6.3.2 高级边缘检测算子及应用举例·····	132
6.4 阈值法分割·····	139
6.4.1 全局阈值法分割及应用举例·····	141
6.4.2 多阈值法分割及应用举例·····	143
6.4.3 变阈值法分割及应用举例·····	150
6.5 基于区域的分割·····	151
6.5.1 基本公式·····	151
6.5.2 区域生长法及应用举例·····	151
6.5.3 分裂-合并法及应用举例·····	154
6.6 基于分水岭法图像分割·····	155
6.6.1 基本概念·····	155
6.6.2 水坝构造·····	157

6.6.3 分水岭分割算法	158
6.6.4 应用标记	159
参考文献	161
习题	161
第7章 二值图像处理	162
7.1 数学形态学概述	162
7.2 膨胀和腐蚀	162
7.2.1 膨胀	162
7.2.2 腐蚀	164
7.3 开运算和闭运算	165
7.4 击中和击不中变换	167
7.5 形态学算子的应用	168
7.5.1 细化	169
7.5.2 骨架化	170
7.5.3 填充	171
7.5.4 边缘检测	172
7.5.5 提取连接成分	174
参考文献	175
习题	175
第8章 描述与表示	176
8.1 表示	176
8.1.1 链码	176
8.1.2 标记图	178
8.1.3 骨架	179
8.2 边界描绘子	181
8.2.1 一些简单的描绘子	181
8.2.2 形状数	181
8.2.3 傅里叶描绘子	182
8.2.4 统计矩	185
8.3 区域描述子	186
8.3.1 某些简单的描绘子	186
8.3.2 傅里叶描绘子	186
8.3.3 拓扑描绘子	189
8.3.4 纹理	190
参考文献	202
习题	202

第 9 章 对象识别	203
9.1 模式和模式分类	203
9.2 基于决策理论方法的识别	205
9.2.1 线性判别函数	205
9.2.2 最小距离分离器	207
9.2.3 最近邻域分类法	207
9.2.4 神经网络	208
9.3 结构法	211
9.3.1 模式的描述方法	211
9.3.2 串文法	212
9.3.3 树表示方法	216
参考文献	219
习题	220
第 10 章 图像水印	221
10.1 概述	221
10.1.1 数字水印的概念	221
10.1.2 数字水印的基本框架	222
10.1.3 数字水印技术的特点	223
10.1.4 数字水印技术的分类	224
10.1.5 数字水印的实现方法	225
10.1.6 数字水印技术的主要应用领域	226
10.1.7 数字水印技术的发展	227
10.2 空间域水印嵌入和提取	229
10.3 变换域水印嵌入和提取	230
10.3.1 DCT 域水印及应用举例	233
10.3.2 小波域水印及应用举例	236
10.3.3 曲波域水印及应用举例	243
参考文献	250
习题	251
第 11 章 图像修复	252
11.1 概述	252
11.1.1 图像修复的目的和意义	252
11.1.2 图像修复的研究现状	253
11.1.3 图像修复的评价方法	256
11.2 基于偏微分方程的图像修复	257
11.2.1 图像修复的原则以及理论分析	259

11.2.2	偏微分方程的导出	260
11.2.3	与图像处理有关的偏微分方程模型	261
11.2.4	偏微分方程的图像修复算法	263
11.2.5	偏微分方程在图像修复中的应用	268
参考文献		272
习题		276
第 12 章 图像检索		277
12.1	概述	277
12.1.1	传统的检索方法	278
12.1.2	基于内容的检索	278
12.2	基于颜色特征的内容检索	285
12.2.1	颜色空间	285
12.2.2	颜色量化	286
12.2.3	颜色特征的提取	288
12.2.4	分块主颜色匹配的检索算法实例	290
12.3	基于形状特征的内容检索	295
12.3.1	形状特征的表达与描述	296
12.3.2	图像分割	296
12.3.3	基于形状特征的图像检索实例	297
12.4	基于纹理特征的内容检索	301
12.4.1	纹理特征提取技术	301
12.4.2	基于共生矩阵的纹理图像检索	305
参考文献		312
习题		314
第 13 章 图像融合		315
13.1	概述	315
13.1.1	图像融合的基本概念	315
13.1.2	图像融合的基本原理和结构	317
13.1.3	图像融合的算法评价	320
13.1.4	图像融合的研究现状	325
13.1.5	图像融合的关键技术与发展方向	327
13.2	图像配准	328
13.2.1	图像配准的概念	328
13.2.2	图像配准的基本理论	329
13.2.3	图像配准的步骤	333
13.2.4	图像配准的一般方法	334
13.2.5	图像配准应用举例	340

13.3	像素级融合及应用举例	343
13.3.1	非多尺度分解的图像融合方法	343
13.3.2	基于 IHS 变换的遥感图像融合	346
13.3.3	基于 PCA 变换的遥感图像融合	349
13.3.4	总结	352
13.3.5	基于拉普拉斯金字塔分解的图像融合方法	352
13.3.6	基于小波变换的遥感图像融合	356
13.4	特征级融合及应用举例	362
13.5	决策级融合及应用举例	365
	参考文献	369
	习题	371
第 14 章	数字图像处理应用实例	372
14.1	小波变换在图像中的应用	372
14.1.1	小波变换的基础知识	372
14.1.2	小波变换在图像融合中的应用	378
14.1.3	小波变换在图像增强中的应用	379
14.1.4	小波变换在红外图像分割中的应用	385
14.2	多尺度几何分析在图像处理中的应用	391
14.2.1	多尺度几何分析概述	391
14.2.2	脊波在图像去噪中的应用	392
14.2.3	曲波在图像增强中的应用	394
14.2.4	轮廓波在图像融合中的应用	399
14.2.5	表面波在图像处理中的应用	401
14.3	偏微分方程在图像去噪中的应用	404
14.3.1	偏微分方程概述	404
14.3.2	偏微分方程在图像去噪中的应用	405
14.4	分形几何在图像压缩中的应用	406
14.4.1	分形几何概述	406
14.4.2	分形几何图像压缩	408
14.5	模糊数学和遗传算法在卫星云图增强中的应用	410
14.5.1	模糊数学概述	410
14.5.2	遗传算法概述	412
14.5.3	混合模糊和遗传算法的红外图像增强	416
14.6	神经网络在红外车辆目标分类中的应用	420
14.6.1	红外车辆目标分类概述	420
14.6.2	红外车辆目标预处理	420
14.6.3	红外车辆目标特征提取	420
14.6.4	径向基函数神经网络车辆目标分类	422

参考文献	422
习题	425
附录 实验指导书	426
内容简介	427
实验一 灰度图像直方图统计	427
一、实验目的	427
二、实验内容和要求	427
三、实验步骤	427
四、思考题	428
实验二 基于 Photoshop 的数字图像处理	429
一、实验目的	429
二、实验内容	429
三、实验步骤	429
四、思考题	437
实验三 反锐化掩膜法增强图像	438
一、实验原理	438
二、实验目的	438
三、实验内容	438
四、实验步骤	438
五、思考题	440
实验四 邻域平均法和中值滤波	440
一、实验原理	440
二、实验目的	441
三、实验内容	441
四、实验步骤	441
五、思考题	443
实验五 图像的几何变换	443
一、实验目的	443
二、实验原理	444
三、实验内容	444
四、实验步骤	444
五、思考题	448
实验六 图像的边缘检测	448
一、实验目的	448
二、实验原理	448
三、实验内容	448
四、实验步骤	449
五、思考题	451

实验七 图像的阈值分割.....	451
一、实验目的	451
二、实验原理	451
三、实验内容	452
四、实验步骤	452
五、思考题	453
实验八 图像压缩.....	454
一、实验目的	454
二、实验原理	454
三、实验内容	455
四、实验步骤	455
五、思考题	459
实验九 水果的自动识别.....	459
一、实验目的	459
二、实验原理	459
三、实验内容	459
四、实验步骤	459
五、思考题	463
实验十 基于混沌和 DCT 的数字水印技术	463
一、实验目的	463
二、实验原理	463
三、实验内容	465
四、实验步骤	465
五、思考题	470

第1章

绪论

1.1 数字图像处理的概念

一幅图像可定义为一个二维函数 $f(x, y)$, 这里 x 和 y 是空间坐标, 而在任何一对空间坐标 (x, y) 上的幅值 f 称为该点图像的强度或灰度。当 x 、 y 和幅值 f 为有限的离散数值时, 称该图像为数字图像。数字图像处理是指借用数字计算机处理数字图像, 值得提及的是数字图像是由有限的元素组成的, 每个元素都有一个特定的位置和幅值, 这些元素称为图像元素、画面元素或像素。像素是广泛用于表示数字图像元素的词汇^[1]。第2章将用更正式的术语研究这些定义。

视觉是人类最高级的感知器官, 所以图像在人类感知中扮演着最重要的角色, 这是毫无疑问的。然而, 人类的感知仅限于电磁波谱的视觉波段, 成像机器则可覆盖几乎全部电磁波谱, 从伽马射线到无线电波。它们可以对非人类习惯的那些图像源进行加工, 这些图像源包括超声波、电子显微镜及计算机产生的图像。因此, 数字图像处理涉及各种各样的应用领域。

图像处理涉及的范畴或其他相关领域(例如, 图像分析和计算机视觉)的界定在初创人之间并没有一致的看法。有时用处理的输入和输出内容都是图像这一特点来界定图像处理的范围。我们认为, 这一定义仅是人为的界定和限制。例如, 在这个定义下, 甚至最普通的计算一幅图像灰度平均值的工作都不能算是图像处理。另一方面, 有些领域(如计算机视觉)研究的最高目标是用计算机模拟人类视觉, 包括理解和推理并根据视觉输入采取行动等。这一领域本身是人工智能的分支, 其目的是模仿人类智能。人工智能领域处在其发展过程中的初期阶段。它的发展比预期慢得多, 图像分析(又称为图像理解)领域则处在图像处理和计算机视觉两个学科之间。

从图像处理到计算机视觉这个连续的统一体内并没有明确的界限。然而, 在这个连续统一体中可以考虑三种典型的计算处理(即低级、中级和高级处理), 以区分其中的各个学科。低级处理涉及初级操作, 如降低噪声的图像预处理、对比度增强和图像锐化。低级处理是以输入、输出都是图像为特点的处理。中级处理涉及分割(把图像分为不同区域或目标物)以及缩减对目标物的描述, 使其更适合计算机处理及对不同目标的分类(识别)。中级图像处理以输入为图像, 但输出是从这些图像中提取的特征(如边缘、轮廓及不同物体的标识等)为特点的。最后, 高级处理涉及在图像分析中被识别物体的总体理解, 以及执行与视觉相关的识别函数(处在连续统一体边缘)等。

根据上述讨论可以看到,图像处理和图像分析两个领域合乎逻辑的重叠区域是图像中特定区域或目标的识别这一领域。这样,在本书中,我们界定图像处理包括输入和输出均是图像的处理,同时也包括从图像中提取特征及识别特定目标伪处理。举一个简单的文本自动分析方面的例子来具体说明这一概念。在自动分析文本时,首先获取一幅包含文本的图像,对该图像进行预处理,提取(分割)字符,然后以适合计算机处理的形式描述这些字符,最后识别这些字符,而所有这些操作都在本书界定的数字图像处理范围内。理解一页的内容可能要根据理解的复杂度从图像分析或计算机视觉领域考虑问题。这样,本书定义的数字图像处理的概念将在有特殊社会和经济价值的领域内通用。在以下各章中展开的概念是应用领域所采用方法的基础。

1.2 数字图像处理的发展历程

数字图像处理最早的应用之一是在报纸业。当时,图像第一次通过海底电缆从伦敦传往纽约。早在 20 世纪 20 年代曾引入 Bartlane 电缆图片传输系统,把横跨大西洋传送一幅图片所需的时间从一个多星期减少到了 3 个小时。为了用电缆传输图片,首先要进行编码,然后在接收端用特殊的打印设备重构该图片^[1]。图 1.1 就是用这种方法传送并利用电报打印机通过字符模拟中间色调还原出来的图像。

这些早期数字图像视觉质量的改进工作,涉及到打印过程的选择和亮度等级的分布等问题。用于得到图 1.1 的打印方法到 1921 年底就被彻底淘汰了,取而代之的是一种基于光学还原的技术,该技术在电报接收端用穿孔纸带打图片。图 1.2 就是用这种方法得到的图像,对比图 1.1,它在色调质量和分辨率方面的改进都很明显。



图 1.1 1921 年由电报打印机采用特殊字符在编码纸带中产生的数字图像

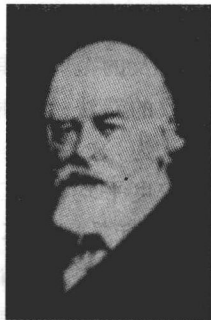


图 1.2 1922 年在信号两次穿越大西洋后从穿孔纸带得到的数字图像,可以看出某些差错

早期的 Bartlane 系统可以用 5 个灰度等级对图像编码,到 1929 年已增加到 15 个等级。如图 1.3 所示的这种典型图像就是用 15 级色调设备得到的。在这一时期,由于引入了一种用编码图像纸带调制光束而使底片感光的系统,明显地改善了复原过程。

刚才引用的数字图像的例子并没有考虑数字图像处理的结果,这主要是因为没有涉及到计算机。因此,数字图像处理的历史与数字计算机的发展密切相关。事实上,数字图像要求非常大的存储和计算能力,因此数字图像处理领域的发展必须依靠数字计算机及数据存