

研究生教材

国防科技大学研究生院教材专项经费资助

基于图像的

精密测量与运动测量

于起峰 陆宏伟 刘肖琳 著



科学出版社
www.sciencep.com

国防科技大学研究生院教材专项经费资助

基于图像的精密测量 与运动测量

于起峰 陆宏伟 刘肖琳 著

科学出版社

2002

内 容 简 介

利用图像进行精密测量是数字图像处理分析技术的重要应用领域。本书围绕精密测量中的图像分析技术突出测量精度的要求和不同的测量方法,结合作者的研究成果,重点介绍了与测量精度有关的软硬件知识,干涉条纹图的分析方法,中、近景摄影测量的原理、方法以及应用。书中还重点介绍了亚像素定位技术。

本书可作为精密光测、实验力学、摄影测量、信息处理和计算机视觉等专业的研究生教学用书,也可供以上专业的研究工作者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于图像的精密测量与运动测量/于起峰,陆宏伟,刘肖琳著. —北京:科学出版社,2002

ISBN 7-03-010385-8

I. 基… II. ①于…②陆…③刘… III. 图像分析—应用—精密测量 IV. TP751

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 026785 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年7月第一版 开本:720×1000 B5

2002年7月第一次印刷 印张:14 1/2

印数:1—2 000 字数:300 000

定价:22.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈北燕〉)

前 言

在当今信息社会中,信息技术正深刻地改变着社会的各个方面。对信息的获取、加工、处理和应用已成为现代信息社会最基本、最重要的任务之一。随着计算机软硬件技术的迅猛发展,特别是计算机在计算速度、传输速度、存储容量等方面的极大提高和在各行各业的迅速普及,计算机图像处理技术也迅速发展并广泛应用,在信息社会中起到越来越重要的作用。

人类所获得的外界信息的 70% 以上是来自眼睛摄取的图像。视觉图像是人类获取信息最主要的来源。在许多场合中,没有其他形式比图像所表达的信息更丰富和真切。将图像技术和计算机技术结合在一起,形成了数字图像处理分析技术。数字图像处理分析技术在不同领域的应用,产生了不同的应用学科。目前已发展了多门相关的应用学科:计算机视觉、机器人视觉、模式识别与人工智能、数字光学测量与数字摄影测量等。数字图像处理分析技术已经和计算机一样,成为科学研究中一种基本、通用的工具。

伽利略在 300 多年前就有一句名言:“有必要测量一切可测的事物,而且要尽力去使那些还不能测量的事物可测(It is necessary to measure everything that can be measured and to try making measurable what isn't as yet.)。”这句话充分说明了测量的重要性。在 300 多年后的今天,这句话不但没有过时,而且显得越来越重要。当今信息技术已渗透到社会的各个角落,计算机技术、数学分析已广泛应用在包括社会科学在内的各个领域。要用到计算机、信息技术,就会用到定量分析,要定量分析就要进行测量,可以说测量是涉及几乎所有现代科学领域的技术。在各种测量技术中,光测和摄影测量技术是最重要、最普遍的技术之一。

将数字图像处理分析技术应用于光测领域,极大地提高了光测技术的测量精度、速度、自动化程度,并大大扩展了光测技术的测量范围和领域。光测图像处理分析技术,即基于图像的精密测量和运动测量技术,具有重要的理论和应用意义。

目前国内已有许多关于数字图像处理分析、数字图像工程、摄影测量和计算机视觉等方面的专著和教材。它们都已介绍和论述了有关数字图像的基本理论、方法和各类处理应用的研究成果。这类普通数字图像处理分析的内容,大多主要涉及图像的一般应用,例如获得更好的视觉效果,识别图像中目标的有无或属性。这些书可能涉及部分光测图像处理的内容,但对其都未能做出系统的、重点的介绍和论述。

针对这种实际情况和实际教学的需求,作者撰写了本书。本书的目的是介绍精密光学测量数字图像处理分析技术的基本理论概念、主要的处理分析方法和一些研究成果及经验,为读者在光测图像处理分析技术方向继续深入研究和应用打下基础。

本书的特点是主要围绕光测中最重要的内容,即如何在光测图像上利用数字图像处理分析技术来高精度、高可靠和高效地对目标特征进行测量。其中测量精度是最重要的指标。这种测量精度的要求使得光测图像处理分析技术具有许多与普通图像处理分析技术不同的研究内容、理论、方法和技术。本书的具体内容主要以第一作者近几年来讲授的“光测数字图像处理分析技术”研究生课程内容^[1]和其在德国不莱梅大学的工学博士论文为基础,汇集了本课题组二十年来在光测图像处理分析方面所得到的大量研究成果和经验。本书内容安排大致如下:

第1章讲述有关光测数字图像技术的基本概念和硬件的基础知识,重点介绍相关硬件系统对测量精度的影响因素。第2章首先介绍光测干涉条纹图的基本特征,然后着重介绍作者提出的一系列滤波方法,最后介绍国内尚未有专门介绍,国际上新推出并已得到较广泛应用的保持结构的 SUSAN 滤波算法。第3、4章介绍光测领域最典型、最常用的干涉条纹图的处理及其相位场提取的原理和方法。由于条纹特征的特殊性,第3章着重介绍条纹中心线法、相移法、傅里叶变换法和全光强分布法等几种条纹图的专门处理方法;第4章则着重介绍云纹和散斑等条纹图的几种特殊处理方法。第5章介绍近景摄影测量学的基本原理和各种方法,其中包括二维、三维摄影测量基本原理、共线方程、空间点、直线和曲线的三维测量方法等,并重点研究目标三维姿态的多种测量方法。第6章介绍和论述光测图像系统中多种成像系统的系统标定方法和系统误差的修正方法。第7章介绍和论述精密光测中的重要技术——亚像素技术,其中重点介绍并讨论相关亚像素定位技术。第8章介绍基于图像序列的多种目标运动学测量方法,主要包括差图像法、相关跟踪法、模式识别跟踪法、光流场及目标轨迹预测等方法。第9章介绍几种光测图像分析技术的具体应用实例,其中包括运动学测量、医学图像测量和扫描仪单幅图像目标测量。

本书的重点在于图像测量。因此在涉及数字图像处理技术和光测基本知识之处,除了连贯性的需要而做简要的介绍外(假定本书的读者已具备了这两方面的知识),本书一般不多阐述。

在这里作者要感谢本课题组的老前辈季南和张帆老师,是他们为本课题组的研究和发展打下了良好基础。同时感谢课题组的孙祥一、雷志辉、张小虎等老师和研究生,本书的顺利完成得益于他们的大力支持和协作,而且其中介绍的许多工作是与他们合作完成的。

基于图像的精密测量与运动测量技术属于交叉学科,涉及的内容多、范围广,

且作者的学识和经验有限,因此难免有错误和片面之处,敬请读者批评指正。

作者

2002年7月于国防科技大学



第一作者简介

于起峰,1981年本科毕业于西北工业大学,1984年硕士毕业于国防科技大学。1990~1995年间共三次约三年在德国不莱梅大学和布伦瑞克大学留学。1996年获德国不莱梅大学工学博士学位。1996年至今任国防科技大学航天与材料学院教授、博导。现为《力学学报》(英文版)和《实验力学》杂志编委。

于起峰教授主要研究精密光测及其图像分析,已发表学术论文60余篇,其中18篇发表在《Applied Optics》等国际著名杂志上,14篇被SCI收录。1997年以来,于起峰教授被收入《世界名人录》和《世界科技名人录》(Marquis Who's Who)。作为第一完成人,获全军科技进步二等奖三项,国家发明专利四项。

目 录

前 言

第 1 章 基于数字图像的精密测量技术基础	1
1.1 数字图像的数学表示及其特性	2
1.1.1 数字图像的数学表示	2
1.1.2 数字图像的特性	4
1.2 数字图像处理硬件系统简介	5
1.2.1 光学成像设备	6
1.2.2 数字化设备	7
1.2.3 图像存储设备	8
1.2.4 计算机主机	9
1.2.5 图像显示与输出设备	9
1.2.6 彩色系统	9
1.3 光测图像系统分辨率	9
1.3.1 光测图像处理的术语	10
1.3.2 成像系统分辨率	11
1.3.3 影响摄像机分辨率的因素	11
1.3.4 处理算法精度	13
1.4 影响测量精度的几个主要因素	13
1.4.1 成像系统几何畸变误差	13
1.4.2 成像系统的噪声	14
第 2 章 干涉条纹图处理基础及旋滤波	18
2.1 条纹图的形成原理及性质	19
2.1.1 条纹图的形成原理	19
2.1.2 干涉条纹图数学形式与特性	20
2.1.3 干涉条纹图噪声	22
2.2 条纹图的普通预处理方法	22
2.2.1 普通滤波平滑方法	23
2.2.2 条纹图的增强	24
2.2.3 条纹倍增法	25
2.3 用于条纹图的各种旋滤波算法	27

2.3.1	旋滤波的基本原理	28
2.3.2	常用的几种旋滤波	29
2.3.3	旋滤波的应用实例与比较	33
2.4	条纹方位图与象限角正余弦滤波法	37
2.4.1	条纹方位图	37
2.4.2	象限角正余弦滤波法	37
2.5	曲线窗口旋滤波	38
2.5.1	条纹连续方向场的获取	38
2.5.2	确定条纹等值线曲线窗口	40
2.5.3	曲线窗口旋滤波	41
2.6	SUSAN 算法	43
2.6.1	SUSAN 算法原理	43
2.6.2	SUSAN 边缘检测算法及其改进	44
2.6.3	SUSAN 滤波算法	47
第 3 章	干涉条纹图的处理分析与相位场提取	50
3.1	条纹中心线法	50
3.1.1	常用骨架线法	50
3.1.2	提取条纹中心线的二维导数符号二值图法	51
3.2	傅里叶变换法	54
3.3	相移法	56
3.3.1	相移法的原理和算法	56
3.3.2	主值相位场的解包裹法	60
3.4	免除噪声的正则化条纹图法	64
3.4.1	条纹图处理概述	64
3.4.2	二维包络面变换	65
3.4.3	分析与消除干涉条纹中心线的系统相位误差	69
第 4 章	各种干涉条纹图处理的特殊算法	77
4.1	云纹图处理方法	77
4.1.1	纯二次条纹图法	77
4.1.2	应变场图像法	80
4.2	光弹图像处理方法	81
4.2.1	等倾线条纹与等差线条纹分离法	82
4.2.2	等倾线条纹锐化与增密法	82
4.3	电子散斑条纹图的处理方法	83
4.3.1	散斑条纹图的相移法处理	84

4.3.2 抑制散斑噪声的曲面旋滤波	85
4.4 免除噪声的正则化条纹图法的应用	87
4.4.1 双幅图相移法	87
4.4.2 单幅图相移法	88
第 5 章 数字近景摄影测量学	91
5.1 近景摄影测量概述及原理	91
5.1.1 近景摄影测量概述	91
5.1.2 摄影成像模型	91
5.1.3 常用坐标系及其关系	94
5.1.4 近景摄影测量原理	97
5.2 空间点目标三维测量	98
5.2.1 共线方程交会法	99
5.2.2 投影矩阵交会法	99
5.3 空间直线、曲线三维测量	101
5.3.1 空间直线三维测量	102
5.3.2 空间解析曲线三维测量	103
5.4 单像机摄影测量	107
5.4.1 二维平面摄影测量	107
5.4.2 单像机三维姿态测量	108
5.5 结构光三维测量法	111
5.5.1 云纹法	111
5.5.2 单光束三维表面测量法	113
5.5.3 条纹结构光测量法	114
5.5.4 结论	115
第 6 章 光测摄像系统标定	116
6.1 摄像系统标定概述	116
6.2 常用摄像系统标定法	118
6.2.1 Tsai's 万能摄像机标定法	118
6.2.2 Weng's 标定法	119
6.2.3 摄像系统标定的三步法	120
6.3 大视场条件下摄像系统的标定	121
6.4 胶片图像数字化摄像系统标定及误差修正	122
6.4.1 摄像系统畸变模型	122
6.4.2 摄像系统标定步骤	123
6.4.3 仿真实验	125

6.4.4 摄像系统标定实验及误差分析	125
6.5 扫描仪的标定与误差修正	128
6.5.1 标定参考物选取	129
6.5.2 线阵 CCD 成像系统标定	129
6.5.3 步进电机的误差标定	130
第 7 章 图像目标亚像素定位技术	132
7.1 亚像素定位原理及选用条件	132
7.1.1 亚像素基本原理	132
7.1.2 亚像素算法的选用条件	134
7.2 矩方法	134
7.2.1 矩定义	134
7.2.2 形心和灰度重心法	135
7.2.3 灰度矩边缘定位法	136
7.2.4 空间矩边缘定位法	138
7.3 拟合法	140
7.3.1 多项式拟合	140
7.3.2 高斯分布拟合	142
7.3.3 椭圆曲线拟合	143
7.3.4 拟合亚像素边缘定位法	144
7.3.5 局域模型法	146
7.4 数字相关亚像素定位法	147
7.4.1 模板的选取	148
7.4.2 相关法的几种数学形式	148
7.4.3 相关法的亚像素定位技术	151
7.4.4 提高相关定位精度的措施	153
7.4.5 提高相关运算的速度	155
7.5 仿真图像制作	158
7.5.1 仿真图生成原理	158
7.5.2 仿真图制作实例	160
7.5.3 噪声仿真生成	163
第 8 章 图像序列的运动目标跟踪与定位	167
8.1 图像序列的数字减影法	167
8.1.1 数字减影法	167
8.1.2 经纬仪图像的数字减影法	169
8.2 相关跟踪法	171

8.2.1	相关跟踪法	171
8.2.2	基于 SUSAN 滤波的相关跟踪	172
8.3	模式识别匹配跟踪法	173
8.3.1	圆标志的识别定位法	174
8.3.2	十字丝标志的识别与定位	175
8.4	基于光流场的运动检测	175
8.4.1	光流场与运动场	176
8.4.2	光流场的基本方程	176
8.4.3	光流场的计算方法	178
8.5	数据关联与目标运动轨迹预测	183
第 9 章	精密光测数字图像分析技术的应用	185
9.1	数字式胶片与视频图像自动分析系统	185
9.1.1	系统硬件简介	185
9.1.2	软件系统功能	186
9.1.3	应用前景	193
9.2	视频图像实时分析系统	193
9.2.1	系统件硬件简介	194
9.2.2	系统软件功能及实现技术	194
9.2.3	圆柱体目标倾倒实时测量仿真	196
9.3	干板图像自动分析系统	197
9.3.1	系统硬件组成	198
9.3.2	软件系统功能	198
9.4	眼球运动图像分析系统	199
9.4.1	生理基础和研究内容	199
9.4.2	系统主要技术路线	200
9.4.3	系统组成和功能	201
9.5	体育运动图像分析系统	202
9.5.1	系统硬件组成	202
9.5.2	软件系统功能	202
9.6	飞行器三维运动测量系统	203
9.6.1	系统简介	203
9.6.2	主要技术方法	203
9.6.3	机载目标运动测量方案	206
9.6.4	实验结果	207
9.7	GTF-182 型光测力学图像分析系统	208
参考文献		210

第 1 章 基于数字图像的精密测量技术基础

利用光学图像对目标的位置、尺寸、形状、方位和目标间相互关系等参数进行测量是图像处理分析的重要研究和应用领域。简而言之,这种通过利用光学图像进行的测量就是光测。同时国际上还有一个学科是摄影测量。可以说光测与摄影测量在许多方面是相互覆盖的,甚至是相同的。特别是与中近景摄影测量相比,相同和相通的地方就更多。但在某些特定的方面两者是有区别的。例如摄影测量学通常不包括利用特殊光学手段,如全息干涉法、栅格线法等进行的光学测量。而用航空或卫星照片进行的大地测量则习惯上称为摄影测量。

光测具有非接触、全场测量和高精度的三大重要特点。非接触测量使得对被测物不用加以任何干扰限制,因此可以独立地、客观地对被测物进行静态或动态的测量。这使得许多不能在被测物上附加传感器的测量成为可能,且更客观和直观。对许多动态测量,人们最关心的是失效破坏过程,但是如果传感器随着测量对象的失效破坏其本身也发生失效和破坏的话,就会导致动态测量的失败。而利用光测可以完好地测量此过程,因此光测具有不可替代的优势。

光测的全场测量的特点使得可对整个视场中目标的特性进行测量。例如全视场每个点位置、位移场、速度场;近距离、小视场的试件材料应变测量;远距离、大视场的弹道轨迹测量;以及远距离、小视场的桥梁振动和下沉测量等。

传统光学测量中,光测信息源是一幅图像或图像序列,其记录介质为胶片、干板等。以往对光测图像主要是由人工进行处理。例如直接在照片上用直尺、脚规等工具进行测量,或用投影仪将胶片放大到屏幕上再对目标进行判读测量。这种采用人工判读处理的方式,不但需要专门的判读设备,而且耗时耗力,易出错,精度低,从而限制了光测的应用。

利用计算机数字图像处理分析技术对光测图像进行处理和分析就形成了光测数字图像处理分析技术。该技术使得光测方法有了质的飞跃,增强了光学测量的手段,扩大了光学测量的应用范围,有效提高了测量精度。光测数字图像处理分析技术与传统光测法相比,有以下几个突出的优点:

- 1) 提高图像的质量。利用数字图像处理技术可以对图像进行各种处理。例如图像增强、边缘锐化、滤除噪声等。这些处理可以有效地增强待测物体的有用信息,抑制无用的噪声信息。通常可明显改善图像的质量,甚至使得传统方法无法测量的物理量可测。

- 2) 提高测量的精度。首先利用提高摄像机、扫描仪等图像采集设备的硬件分

辨率,或调整光学镜头放大倍数等方法,使获得的图像信息比传统方法更多、更精确。同时利用各种图像目标模式定位方法,特别是亚像素定位技术,可以明显地提高图像目标的定位精度。

3) 可测量传统方法不易测量的物理量。许多肉眼无法分辨的物理量,例如与待测相位有关的干涉条纹的亮度变化量,某异形区域的面积,某连续变化的亮度场、色彩场、条纹方位场等,都可以利用光测数字图像处理分析技术来进行测量。

4) 对成像系统的高精度标定和误差修正。成像系统的标定和误差修正是高精度光学测量的重要环节之一。用数字图像处理技术可以实现对摄像系统高精度的标定和误差修正,为高精度光学测量提供坚实的基础。

5) 自动化程度高。随着计算机技术的不断发展,各类图像采集、处理新硬件的出现为光测技术发展提供了新的方法和手段,再加上处理算法自动化程度和效率的提高,使光测图像处理分析的自动化程度大大提高,这样极大地减少了处理的工作量和时间。

由于上述的优势,将数字图像处理分析技术广泛应用于光学测量已是必然的趋势。了解和掌握光测数字图像分析的基本原理和方法具有重要的理论和应用意义。

1.1 数字图像的数学表示及其特性

1.1.1 数字图像的数学表示

人们常说的图像是指能为视觉系统所感受的一种信息形式。信息的内容是眼睛或设备对客观世界反射或透射的某种物质能量在空间分布的记录,就是说图像实质上是客观世界反射或透射某种物质能量的分布图。这种物质通常是可见光,也可能是X射线、红外线和超声波等。显然图像所记录的内容和辐射源的照度、波长以及景物的反射和透射能力有关。

一般图像的主要度量特征是光强度和色彩,对于光强图像(又称为灰度图像或黑白图像),可由照射和反射模型——二维光强函数 $f(x, y)$ 来描述,

$$f(x, y) = i(x, y) r(x, y) \quad (1.1.1)$$

其中, x 和 y 是图像的空间坐标, $i(x, y)$ 是依赖于光源的入射光照射能量分量的入射函数, $r(x, y)$ 是反映物体表面反射特性的反射函数,且 $0 < i(x, y) < \infty$, $0 < r(x, y) < 1$ 。这里入射函数反映了图像的外部因素或环境因素,而反射函数反映了图像中物体的内在特性,即物体对多种光的反射特性^[2,3]。

由于计算机的离散特性,需将上述自然界的连续光强图像进行离散化为一幅

数字图像。利用一定的成像设备,将函数 $f(x, y)$ 在空间上按一定方式离散划分为小区域 (x_i, y_i) ($i = 0, 1, \dots, M-1; j = 0, 1, \dots, N-1$), 该小区域称为图像元素 (picture element), 简称为像素 (pixel)。 M 和 N 是图像分别在 x 和 y 两个方向的像素个数。图像平面分割的方法有多种, 如方形、正三角形和正六角形点阵等。其中最常见的方式是方形采样网格, 如图 1-1-1 所示。

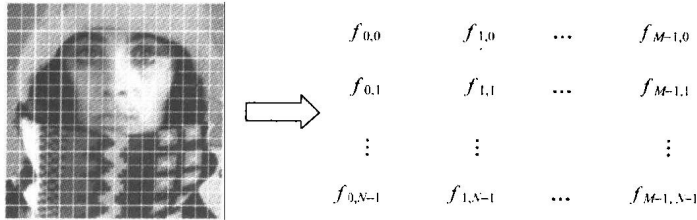


图 1-1-1 数字图像的矩阵表示形式

同时,还要将图像上各像素点的灰度值进行离散化,即所谓的量化。将像素灰度进行量化的方法分为均匀量化和非均匀量化两类,其中均匀量化是最常见的方法。均匀量化是将图像灰度范围分成 G 个等间隔, G 为灰度的分割级数或量化级数,即为灰度分辨率。由于计算机总线处理数据位数的特殊要求同时为了贮存的方便,灰度级数通常用二进制的位数 k (比特数) 来表示,即 $G = 2^k$ 。 k 常取的值有 8、10 和 16, 对应于 256、1024 和 65 536 个灰度级数。

经过离散后的数字图像从数学形式上看,就是一个 $M \times N$ 的数学矩阵(如图 1-1-1 所示)。该数学矩阵的元素排列的位置,代表对应像素点在图像上的空间位置。矩阵中元素数值对应于像素点的灰度值。将该矩阵用三维图画出来可形象地表达出图像光场分布,通常可直接将灰度值用相应的亮度显示在屏幕上,则得到与自然图像相似的光强图。由于数字图像可以用二维矩阵来表示,因此任何可对矩阵进行加、减、乘、除、微分、积分等数学运算也可以对数字图像进行。

对于一幅由 $M \times N$ 个像素点组成的数字图像,每个像素由 k 位数据表示。这样数字图像的基本特征就可以用 $M \times N \times 2^k$ 个状态来描述。同时 M 、 N 、 k 决定了数字图像占用的存储空间的大小。由于计算机中处理、显示和存储的特殊要求,一个像素点的灰度信息要用整数字节来存储。比如,对于 10 位的灰度图像的一个像素的灰度值通常要用两个字节来存储。再加上图像的宽度、高度、文件注释等少量的信息,因此一幅图像所占的计算机存储空间大约为 $M \times N \times (k + 7)/8$ 个字节。

1.1.2 数字图像的特性

通过数字成像设备可将一幅自然界的光学图像转换为一幅数字图像。那么一幅数字图像与原自然界景象有什么区别和联系呢?为了更好地掌握图像的本质和特性,进而通过图像来进行精密测量。这里总结出如下与光学测量有关的数字图像特点:

1) 数字图像是通过成像设备将自然界景象的光强分布函数在空间上离散成像素点,在光强上离散为灰度等级而形成的。其中景象的几何位置与图像成中心投影关系;灰度级与对应光强度成正比关系。因此数字图像在几何位置和光强分布上与自然界景象存在一定的相似性。

2) 数字图像的数学表示是一数学矩阵,因此对数学矩阵所能作的所有的数学运算都能够用于数字图像。这些运算包括加、减、乘、除、微分、卷积和数学变换,以及各种局域运算、分析等等。不同的运算代表着不同的物理意义,根据处理所要达到的目的就可以设计出相应的算法。

3) 数字图像采样具有重建特性^[2,3]。一幅数字图像是由有限的离散像素点组成的,其采样间隔 Δx 、 Δy 满足什么样的条件才可以完全重建空间的连续图像?图像所能反映的空间特征的最小细节或最高频率是多少?这个问题可简单地由著名的奈奎斯特(Nyquist)采样定理来解决。由于大量的图像及信号处理书籍中都阐述了该定理,因此,这里只给出结论。

光强度函数 $f(x, y)$ 中信号的最高频率是由空间物体包含的最高频率和成像系统调制传递函数(MTF)的截止频率来决定的。设 u_c 、 v_c 为两个方向上空间物体包含的最高频率和成像系统 MTF 截止频率两者的最小值,则只要采样间隔 Δx 和 Δy 满足下式的关系,就可能由 $f(x, y)$ 的采样图像精确重建 $f(x, y)$ 。

$$\Delta x < \frac{1}{2u_c}, \quad \Delta y < \frac{1}{2v_c} \quad (1.1.2)$$

满足奈奎斯特采样定理仅是获得较精确信息的最低要求,换句话说,采样图像所能表现的空间物体细节的最高频率为 u_c 、 v_c 。如果不满足采样定理,超过 u_c 、 v_c 频率的信息就会和低频信号发生混叠而丢失。

由于数字图像采集过程中会不可避免地在多个环节中出现各种噪声(噪声的产生和影响将在本章后面进一步说明),而噪声在理论和实践上是不可能完全滤除掉的,即理想采样不可能实现,因此实际采集的数字图像也就无法被精确重建。

4) 图像光强量化具有非线性效应。在采集数字图像过程中,存在着光/电转换和模/数转换两次量化过程。即将自然景象的光强变成对应的灰度值。总体说来数字化设备的灰度与光强的转换关系是线性正比的关系,但由于成像材料的特

殊性能,实际的光强-灰度曲线通常不是表现为严格的线性关系,而是表现为如下的指数关系:

$$G = KI^\alpha \quad (1.1.3)$$

其中, G 是灰度值, I 是光强值, α 是非线性指数, K 是一常数。

灰度与光强曝光曲线如图 1-1-2 所示,在光强曝光的中间区域 BC 段,灰度与光强有较好的线性关系。在光强的暗区 AB 段和极亮区 CD 段,灰度与光强的关系是非线性的。在 AB 段,光强低于或接近光敏门限值,处于曝光不足状态。 CD 段的光强处于过饱和状态。在实际采图工作中,应尽量使图像系统工作在灰度-光强曲线的线性区 BC 段。当工作在非线性区时,可用数字图像处理的方法对图像进行灰度标定和修正。

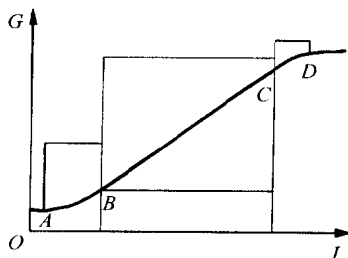


图 1-1-2 曝光特性曲线

5) 光学成像系统的几何畸变现象。在实际光学成像系统中,数字图像与自然景象在几何上很难满足严格的中心投影,通常存在一定的几何畸变现象。对此问题将在后续章节中进行详细的讨论。

综上所述,一幅数字图像是自然景物的光学特性、环境光场、成像系统等各环节的特性的综合表现形式。通过数字图像来提取、恢复自然界景物的特性是数学物理中的一个反问题。由于数字图像生成过程中引入了许多不确定的因素,从而使得该反问题是个不适定的问题,即无法得到严格真实的解。目前没有一种通用的、一般可解的具体算法,因此对不同的应用对象往往需要研究不同的具体算法,而且对算法的可靠性还值得怀疑。对具体问题采用什么处理方法和处理是否成功,更多地取决于研究者的知识、能力和经验,而往往没有统一的方法。正因为这样,才可以说数字图像处理分析更多的是一门技术,而不是一种通用的理论。

1.2 数字图像处理硬件系统简介

为了采集数字图像,需要两种设备。一种是对某个电磁能量频段(如可见光、X射线、紫外线、红外线等)敏感的物理器件,它能产生与所接收的电磁能量成正比的(模拟)电信号。另一种称为数字化设备,它能将上述的模拟电信号转化为数字(离散)的形式,即进行模数转换(A/D)。所有采集数字图像的系统都需要这两种设备。为了进行图像的分析处理,计算机是必不可少的部分。为了将处理的结果展现出来,还要有图像显示与输出设备。

在实际中,组成数字图像处理硬件系统的设备和方法是多种多样的,但是一个