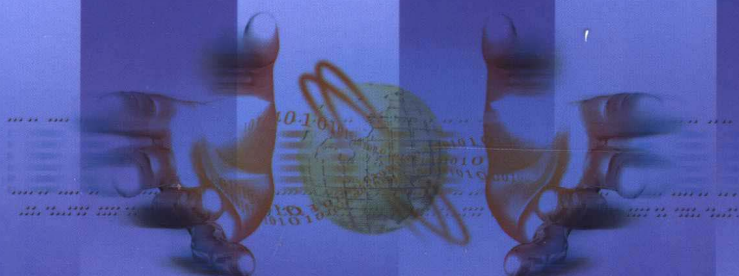


010101

数字图像处理基础

朱虹等 编著



科学出版社

www.sciencep.com

数字图像处理基础

朱 虹 等 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是依据作者近几年的教学与研究过程中重要的基础部分编写的,书中主要介绍数字图像处理的基础方法,其中不仅包括经典的方法,而且包括近几年在研究中所提出的方法。

全书共分为11章,重点介绍图像的基本概念、图像增强、图像几何变换、图像去噪、图像锐化、图像分割、二值图像处理、彩色图像处理、图像变换以及图像压缩编码等。

编写时作者特别注意了读者对本书的理解、掌握。本书可以作为高等学校信息与通信工程、信号与信息处理、应用数学、电子、自动化类各专业本科生或研究生的教材或参考书,也可作为工程技术人员和从事相关研究与应用研究人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理基础/朱虹等编著. —北京:科学出版社,2005

ISBN 7-03-014835-5

I. 数… II. 朱… III. 数字图像处理-高等学校-教材 IV. TN919.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 008374 号

责任编辑:崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平 / 封面设计:天梯艺术

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>

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

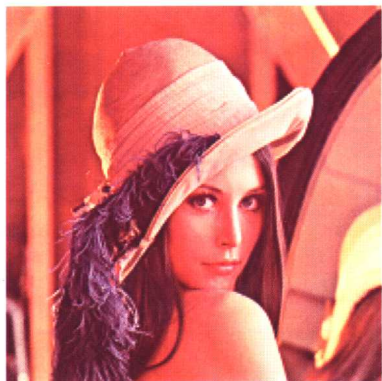
2005年4月第 版 开本:B5(720×1000)

2005年4月第一次印刷 印张:17 1/4 插页:1

印数:1-4 000 字数:333 900

定 价: 28.50 元

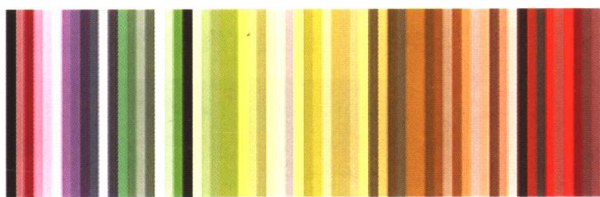
(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)



彩图 2.1 国际标准测试图像 Lena



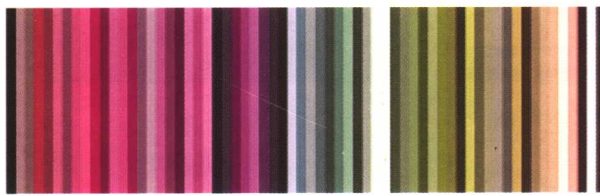
(a) 256 色的原图



(b) 图 3.19(a) 的测试条



(c) 256 色的原图

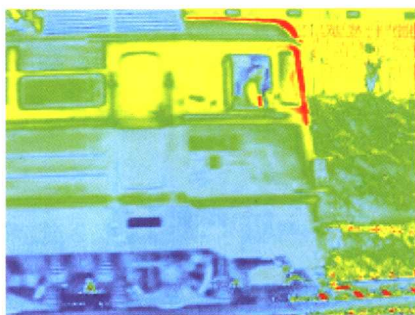


(d) 图 3.19(a) 的测试条

彩图 3.1 基于灰度调色板的伪彩色方法



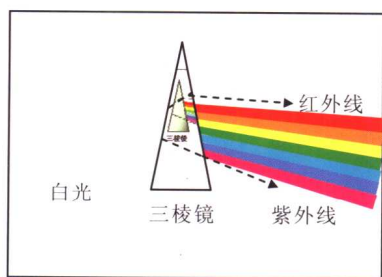
彩图 3.2 0 ~ 255 灰度测试条的伪彩色测试条



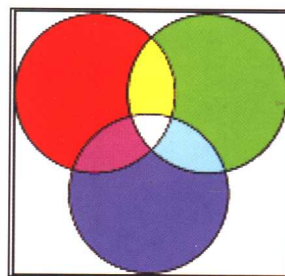
彩图 3.3 灰度变换伪彩色处理



彩图 3.4 区域分割伪彩色处理



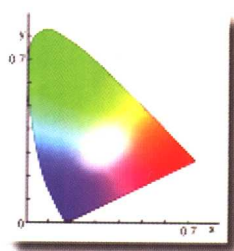
彩图 9.1 光学原理下的色彩形成



彩图 9.3 三原色的成像原理



彩图9.2 可见光区的色光分布示意图



彩图 9.4 色度图

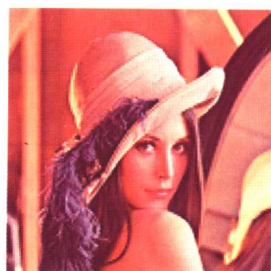


(a) 有色偏的原图



(b) 色偏校正效果

彩图 9.5 白平衡方法的处理效果



(a) 有色偏的原图



(b) 色偏校正效果

彩图 9.6 最大颜色值分布平衡法的效果



(a) 原图



(b) CbCr 是小分辨率下的效果

彩图 11.1 将 CbCr 间隔采样后的效果

— 前 言 —

由于计算机处理能力的不断增强,数字图像处理学科在飞速发展的同时,也越来越广泛地向许多其他学科快速交叉渗透,使得图像作为信息获取以及信息的利用等方面的作用也变得越来越重要。

作者在从事数字图像处理的研究与教学过程中发现,不少刚刚开始涉足图像处理领域的读者,需要一本讲解基础知识的、可以引导他们进入到该领域的参考书。特别是在大学本科教育中,一本深入浅出地分析相关理论的书可以给读者非常大的帮助。同时,因为近几年数字图像处理向各个应用领域的渗透,使得越来越多的研究人员希望了解数字图像处理的相关方法与理论,一种对容易理解、便于自学的相关参考书的需求由此形成。

自2000年以来,作者在个人网站上就提供了可免费下载的“数字图像处理”讲座,该讲座的讲稿所涉及的内容属最基本的基础理论。从此有许多读者希望提供与之配套的参考书。

正是在这样的背景之下,又得到科学出版社的大力支持,作者协同研究室的研究成员,对相关的方法与内容进行了分析、总结与实验,最终使这本《数字图像处理基础》一书出现在大家面前。

本书的内容共分11章,内容包括数字图像处理的基本概念,图像增强,图像几何变换,图像噪声抑制,图像锐化处理,二值图像处理,彩色图像处理,图像变换以及图像压缩编码几个方面,其中也包括了一些我们在研究过程中所提出的新方法。

与本书配套的演示文稿,读者可从科学出版社的网站 <http://www.sciencep.com> 以及作者所在研究室的网站上(<http://xautdiph.51.net>)免费下载。

本书是在研究室的研究成员共同努力下完成的。本书的顺利出版得到了学校以及科学出版社的大力支持,在此表示感谢。在编写过程中引

用及参考了大量的文献,在此,向原作者也表示感谢。由于本人水平所限,书中难免出现不当之处,敬请各位读者批评指正。

本书执笔者分工如下:

- 朱 虹 第1章 ~ 第11章内容的撰写与实验
潘英杰 2.1节及2.4节部分内容的撰写
冯春来 2.2节及2.3节部分内容的撰写
梁 刚 3.1节及3.2节部分内容,9.4节部分内容,9.5节部分内容的撰写
邓杰航 3.3节及3.7节部分内容,10.1节内容的撰写与部分实验
辛 威 3.4~3.6节,8.2~8.4节的撰写与部分实验
李 钦 4.1节内容的撰写
贾明桥 4.2节内容的撰写
孔 琛 4.4节内容的撰写
祝 培 5.1节部分内容的撰写
李 晗 5.2~5.4节,8.5节内容的撰写与部分实验
陈飞雄 6.2节,6.3节部分内容的撰写
张 军 6.5节,6.6节,9.1节,10.3 ~ 10.6节内容的撰写与实验
钱学明 7.1节部分内容的撰写与部分实验
邓颖娜 7.4节部分内容的撰写
许朝晖 9.2节内容的撰写
季瑞瑞 11.1节,11.4节部分内容,11.5节部分内容,11.6节内容的撰写与实验
张锬石 11.2节,11.4节部分内容的撰写
杨 坤 11.5.3节的实验

作 者

于西安理工大学

2004年11月

目 录

第 1 章 引 言	1
1.1 图像的基本概念	1
1.2 数字图像处理, 计算机视觉, 计算机图形学	2
1.3 数字图像处理系统结构	4
1.4 数字图像处理的主要研究内容	6
1.5 本书的结构安排	8
习 题	9
第 2 章 图像的基本概念	10
2.1 图像数字化	10
2.1.1 采 样	11
2.1.2 量 化	13
2.2 数字图像的数值描述	17
2.3 数字图像的位图文件结构	20
2.3.1 BMP 位图文件的总体结构	21
2.3.2 BMP 位图文件的各结构的具体数据项	22
2.4 数字图像的灰度直方图	24
2.4.1 概 念	24
2.4.2 性 质	27
2.4.3 用 途	27
习 题	29
第 3 章 图像增强	31
3.1 γ 校正	31
3.2 对比度线性展宽	35
3.3 灰级窗与灰级窗切片	36
3.3.1 灰级窗	36

3.3.2 灰级窗切片	37
3.4 动态范围调整	39
3.4.1 线性动态范围调整	39
3.4.2 非线性动态范围调整	42
3.5 直方图均衡化方法	43
3.6 同态滤波方法	46
3.7 伪彩色方法	48
3.7.1 基于灰度调色板的伪彩色方法	49
3.7.2 基于灰度变换的伪彩色方法	50
3.7.3 基于区域分割的伪彩色方法	51
习 题	51
第 4 章 图像几何变换	53
4.1 图像的位置变换	53
4.1.1 图像的平移	53
4.1.2 图像的镜像	54
4.1.3 图像的旋转	56
4.2 图像的形状变换	62
4.2.1 图像缩小	62
4.2.2 图像的放大	65
4.2.3 图像的错切	68
4.3 齐次坐标与图像的仿射变换	70
4.4 三维图像的投影变换	71
4.4.1 投影与投影变换	71
4.4.2 平面几何投影	72
4.5 图像几何畸变的校正	81
习 题	83
第 5 章 图像噪声的抑制	84
5.1 图像噪声的基本概念	84
5.2 均值滤波	86
5.2.1 原 理	86
5.2.2 图像噪声的均值滤波方法	88

5.3 中值滤波	91
5.3.1 原 理	91
5.3.2 方 法	91
5.4 边界保持类平滑滤波	93
5.4.1 灰度最小方差的均值滤波器	94
5.4.2 K 近邻平滑(均值、中值)滤波器	96
5.4.3 对称近邻均值滤波器	98
5.4.4 西戈玛(Σ)平滑滤波器	99
习 题	100
第 6 章 图像的锐化处理	102
6.1 图像细节的基本特征	102
6.2 一阶微分算子	105
6.2.1 具有方向性的一阶微分算子	105
6.2.2 Roberts 交叉微分算子	109
6.2.3 Sobel 微分算子	110
6.2.4 Priwitt 微分算子	111
6.3 二阶微分算子	112
6.3.1 Laplacian 微分算子	112
6.3.2 Wallis 微分算子	116
6.4 微分算子在边缘检测中的应用	116
6.5 Canny 算子	118
6.6 LOG 滤波方法	122
习 题	124
第 7 章 图像分割	125
7.1 基于图像灰度分布的阈值方法	125
7.1.1 基于灰度直方图的峰谷方法	126
7.1.2 p -参数法	127
7.1.3 均匀性度量法	127
7.1.4 类间最大距离法	129
7.1.5 最大熵方法	130
7.1.6 最大类间、类内方差比法	131

7.1.7 聚类方法	132
7.1.8 局部阈值方法	132
7.2 基于图像灰度空间分布的阈值方法	133
7.2.1 灰度-局部灰度均值散布图法	133
7.2.2 二维熵法	134
7.3 边缘检测法	135
7.3.1 梯度直方图法	135
7.3.2 复差分法	136
7.3.3 综合边缘检测法	137
7.4 区域提取方法	138
7.4.1 已知形状的曲线检测	138
7.4.2 区域生长法	141
7.4.3 区域合并、分裂方法	143
习 题	145
第8章 二值图像处理	147
8.1 二值图像中的基本概念	147
8.1.1 四连接与八连接	147
8.1.2 内部点与边界点	148
8.1.3 连接数与交叉数	148
8.1.4 欧拉数	150
8.1.5 链 码	150
8.1.6 几何特征的测量	151
8.2 腐蚀与膨胀	154
8.2.1 腐 蚀	154
8.2.2 膨 胀	156
8.3 开运算与闭运算	159
8.3.1 开运算	159
8.3.2 闭运算	160
8.4 贴标签	161
8.5 细线化方法	164
习 题	166

第 9 章 彩色图像处理	167
9.1 彩色的形成原理与基本概念	167
9.2 表色系	168
9.2.1 计算颜色模型系统	169
9.2.2 视觉颜色模型系统	171
9.2.3 工业颜色模型系统	175
9.3 彩色图像的常规处理	178
9.4 彩色图像的彩色平衡处理	179
9.4.1 白平衡方法	179
9.4.2 最大颜色值平衡方法	180
9.5 彩色图像的彩色补偿处理	181
习 题	184
第 10 章 图像变换	186
10.1 图像的频域变换——傅里叶变换	186
10.1.1 一维傅里叶变换	186
10.1.2 二维傅里叶变换	189
10.1.3 二维离散傅里叶变换	189
10.1.4 快速傅里叶变换	191
10.2 傅里叶变换在图像处理中的应用	196
10.2.1 图像傅里叶变换后的频率分布	196
10.2.2 图像的高通滤波	197
10.2.3 图像的低通滤波	198
10.2.4 傅里叶变换在图像压缩中的应用	198
10.2.5 傅里叶变换在图像卷积运算中的应用	199
10.3 离散余弦变换(DCT)	200
10.3.1 一维离散余弦变换	200
10.3.2 二维离散余弦变换	201
10.4 沃尔什变换	203
10.4.1 基本概念	204
10.4.2 沃尔什变换	207
10.5 斜变换	210

10.5.1	斜矩阵	210
10.5.2	斜变换	212
10.6	小波变换	213
10.6.1	连续小波变换	214
10.6.2	离散小波与二进小波	216
10.6.3	小波的多尺度分解与重构	217
10.7	小波变换在图像处理中的应用	224
10.7.1	小波变换在图像压缩中的应用	225
10.7.2	小波变换在图像融合中的应用	226
10.7.3	小波变换在图像边界检测中的应用	227
10.7.4	小波变换在图像增强中的应用	228
10.7.5	小波变换在去除图像噪声中的应用	229
习 题		230
第 11 章	图像压缩编码	231
11.1	图像冗余的概念	231
11.2	图像的无损压缩编码	235
11.2.1	行程编码(RLE)	235
11.2.1	霍夫曼(Huffman)编码	239
11.3	彩色图像的有损压缩	243
11.4	图像的变换压缩编码	244
11.4.1	DCT 变换编码	244
11.4.2	小波变换编码	247
11.5	图像的标量量化压缩编码	250
11.5.1	基于直方图均衡化的非均匀量化方法	251
11.5.2	压扩量化方法	252
11.5.3	自适应量化方法	255
11.6	图像的矢量量化压缩编码	256
11.7	混合压缩编码	260
习 题		262
参考文献		263

第1章 引言

我们知道,人类所获得信息的70%以上来自于视觉,换句话说,人类将用自己双眼所观察到的世界进行缜密的分析与思考之后,推动了科技的进步,也推动了整个世界的发展。正是因为图像所带给人们的直观信息的特点,使得图像处理技术随着计算机技术、多媒体技术的飞速发展取得了长足的进步。因为图像具有可反映人类第一感觉下的思维的魅力,这些年来,图像技术快速地向各个研究领域渗透。

在这种快速增长的社会需求之下,由于计算机处理能力的不断增强,使得图像处理的广泛应用有了可实现的硬件基础。

本章,就数字图像处理的基本内容进行简单的阐述。

1.1 图像的基本概念

图像 是对客观存在物体的一种相似性的生动模仿与描述,是物体的一种不完全的、不精确的描述,但是在某种意义下是适当的表示。

图1.1所示是一幅对冬季场景的描述,从图中可以感受到下雪天带来的美丽景色,这种感受来自于这幅图像对当时场景的生动模仿。而这种模仿的写实性、生动性以及直观性其他媒体方式所不能及的。从感受雪景美感的角度上讲,这幅图像是对当时状况的一个适当的表示。

但是,从图中我们无法知道当时的气温是多少,降雪量是多少,无法知道这场雪在给大家带来美景的同时,带来的交通状况恶化程度等。从这个角度来说,这幅图像同时也只



图 1.1 冬季场景

是不完全的、不精确的描述。

按照上述对图像的定义,又可以将图像分为物理图像和虚拟图像。

■ **物理图像** 是指物质或能量的实际分布。例如,光学图像的光强度的空间分布,就能够被人的肉眼所看见,因此也称为可见图像。可见图像是我们所接触的、与人类的视觉特性相吻合的通常意义下的图像。不可见的物理图像有如温度、压力高度等的分布图,以及在医学诊断中所使用的以超声波、放射线手段成像得到的医学影像等。这类图像是将不可见的物理量通过可视化的手段将其转换成人眼可非常方便地进行识别的图像形式。物理图像信号的好坏,很大程度地依赖于物理信号的检测设备的性能。以光学图像为例,光感应特性好的设备可以得到效果好的图像;同时,光感应器件的适应范围(即可以感知的最大、最小光强度的范围)不同,所使用的目的也不同。

■ **虚拟图像** 是指采用数学的方法,将由概念形成的物体(不是实物)进行表示的图像。虚拟图像从想像中的物体到想像中的光照、想像中的摄像机等,都是采用数学建模的方式,利用成像几何原理,在计算机上制作的。例如,在现在电影中,所合成的灾难场面、历史场面等,给提升电影的感染力发挥了很好的作用。虚拟图像的一个最大问题是,因为是在数学模型下生成的图像,所以在与实际拍摄的图像进行合成时,其真实感是否可以得到很好的保持,是一个比较关键的问题。例如,实际拍摄的图像,一定存在尘埃对画面的影响,存在摄像设备本身的固有噪声等,而虚拟图像是仿佛在真空中拍摄的图像,所有实际的干扰都不存在。这种现象会导致一定程度地降低了图像的真实感。

■ **数字图像** 是用一个数字阵列来表示的图像。数字阵列中的每个数字,表示数字图像的一个最小单位,称为**像素**。通过对每个像素点的颜色,或者是亮度等进行数字化的描述,就可以得到在计算机上进行处理的数字图像。显然,数字图像可以是物理图像,也可以是虚拟图像。

1.2 数字图像处理,计算机视觉,计算机图形学

与数字图像相关的研究领域,包括了数字图像处理、计算机视觉、计算机图形学等。它们所研究的对象都是图像,所使用的硬件手段都是计算机(或者是 DSP 处理器),并且这三个研究领域所研究的内容有一定的交叉和覆盖。但是,这三个研究领域所研究的内容有所不同的侧重点。

■ **数字图像处理** 可以理解为以下两个方面的操作。

1. 从图像到图像的处理

这类处理是将一幅效果不好的图像进行处理, 获得效果好的图像。如图 1.2(a) 所示, 是一个实际拍摄的大雾天气下的一个场景, 我们希望提高画面的清晰度, 可以观察到场景中的景物细节, 提高画面的能见度。为此, 我们分析, 该图之所以能见度低, 是因为在空气中悬浮着许多微小的水颗粒, 这些水颗粒在光线的散射下, 使景物与镜头(或人眼)之间形成了一个半透明层。这样, 如果通过适当的图像处理方法, 消除或减弱这层遮人视线的大雾层, 如图 1.2(b) 所示, 就可以得到一幅清晰的图像^[3]。

这就是从图像到图像的处理。

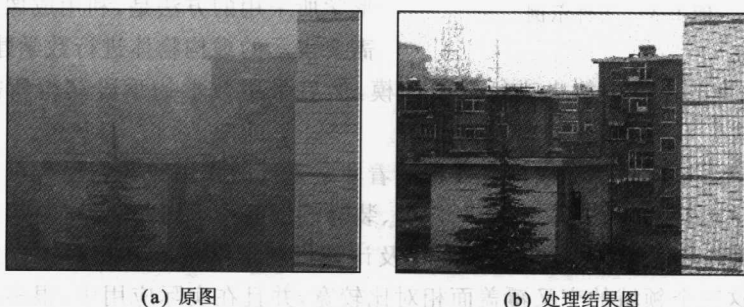


图 1.2 图像到图像的处理示例

2. 从图像到非图像的一种表示

这类处理通常又称为数字图像分析。通常是对一幅图像中的若干个目标物进行识别分类后, 给出其特性测度。例如, 在一幅图像中, 拍摄记录下来包含几个苹果和几个橘子等水果的画面, 经过对图像的处理与分析之后, 可以分检出苹果的个数, 以及苹果的大小等。

这种从图像到非图像表示, 在许多的图像分析中起着非常重要的作用。例如, 对人体组织切片图像中的细胞分布进行自动识别与分析, 给出病理分析报告就是一个在计算机辅助诊断系统中的一个重要的应用^[34,36]。这类方法在图像检测^[48,51]、图像测量^[49,50]等领域中, 有着非常广泛的应用。

■ **计算机视觉** 是指能够理解自然景物的系统。我们知道, 计算机视觉是为一个设备或者机器人提供眼睛的功能。因此, 计算机视觉的处理中, 包括了三维景

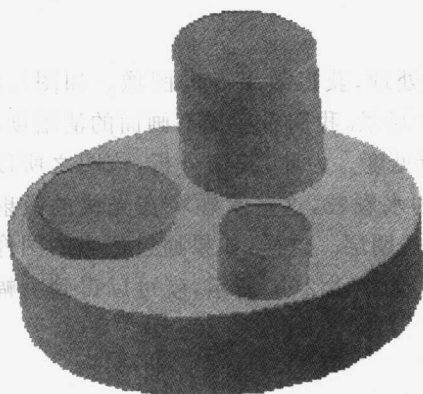


图 1.3 工件示例

物信息的识别与处理,对景物中所包含目标的内容及信息进行理解,以及最终得到一个决策。例如,在一个生产线上,机械手是有三个装有吸盘的手爪构成的,当需要平稳地抓起如图 1.3 所示的工件时,就需要计算机视觉处理,给出机械手的三个手爪可以抓到的最大、最平稳的面。

计算机图形学 是指用计算机将由概念或者数学描述所表示的虚构物体图像进行处理和显示的过程。计算机图形学所采用的方法是,利用成像几何对所需要表示的虚构物体进行数学建模,并对

光照、想像中的摄像机等进行数学建模,然后采用数学的手段获得所需要的场景。

计算机图形学技术在虚拟现实起着非常重要的作用。我们已经可以在日常生活中的从电视媒体、计算机游戏、广告、装饰设计等中,见到其无比的魅力。

虽然数字图像处理、计算机视觉以及计算机图形学都有其相对独立的研究方法,但是,这三个领域的交叉覆盖面相对比较宽,并且在实际应用中,很多时候是三者的结合。本书的目的是介绍数字图像处理的基本方法,读者在实际应用中若需要计算机视觉或者计算机图形学方面的技术,请参考相关的著作或参考文献。

1.3 数字图像处理系统结构

数字图像处理系统的结构如图 1.4 所示。首先摄像单元将对象物所反射的光强度进行记录之后,通过光电传感器转换成电信号,电信号在 A/D 转换单元又转换成数字信号,并存储在图像存储单元中,然后读入计算机内进行相关的处理并将处理结果进行显示。

我们知道,最终所成的像取决于光源,光源与对象物的位置关系以及对象物的反射光强度等。光源包括各种人造光源以及白昼自然光,而光源与对象物的位置关系则基本上可以分为如图 1.5 所示的背光光照、正面光照、斜射光照等几种情况。