

1

绪论

本章对全书内容和结构进行概括介绍,其内容安排如下:

1.1 节首先回顾一些与图像相关的概念、定义,然后对将各种图像技术集中结合以及对整个图像领域进行研究应用的新学科——图像工程进行概述。

1.2 节概括介绍图像分析的定义和研究内容,讨论图像分析与图像处理,图像分析与模式识别的联系和区别,并结合图像分析系统的框架讨论其各个组成工作模块的功能和特点。

1.3 节列出本书主要内容、结构和安排,并对各章重要内容给予概括介绍。

1.1 图像和图像工程

1.1.1 图像基础知识

图像是用各种观测系统以不同形式和手段观测客观世界而获得的,可以直接或间接作用于人眼并进而产生视知觉的实体[章 1996a]。这里图像的概念是比较广义的,包括照片、绘图、动画、视像,甚至文档等等。图像中包含了它所表达物体的丰富描述信息,是我们最主要的信息源。

客观世界在空间上是三维(3-D)的,但一般从客观景物通过投影得到的图像则是二维(2-D)的。在常见的观察尺度上,客观世界是连续的,所得到的图像也是连续的。为了能用计算机对图像进行加工,需要把连续的图像在其坐标空间和性质空间都离散化。这种离散化了的图像是数字图像,是客观事物的可视数字化表达。

本书讨论的都是数字图像,在不会引起误解的情况下,均用图像一词来代表数字图像。一幅图像可以用一个 2-D 数组 $f(x, y)$ 来表

示,这里 x 和 y 表示 2-D 空间 XY 中一个离散坐标点的位置(实际图像的尺寸是有限的,所以 x 和 y 的取值也是有限的),而 f 则代表图像在点 (x, y) 的某种性质 F 的离散数值(实际图像中各个位置上所具有的性质 F 的取值也是有限的,所以 f 的取值也是有限的)。

一幅 2-D 图像还可以用一个 2-D 的 $M \times N$ 的矩阵 $\mathbf{F}$ (其中 M 和 N 分别为图像的总行数和总列数)来表示:

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1N} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{M1} & f_{M2} & \cdots & f_{MN} \end{bmatrix} \quad (1.1.1)$$

式(1.1.1)的表示形式比较形象地表明一幅 2-D 图像是一种空间属性(如亮度)的分布模式。图像中每个基本单元(对应式(1.1.1)矩阵中的每一项)叫做图像元素,简称像素,英文里常用 pixel(picture element)来称呼。一系列的 2-D 图像可构成一幅 3-D 图像。对 3-D 图像,英文里常用 voxel 代表其基本单元,简称体素(volume element)。

由式(1.1.1)可见,一幅 2-D 图像是某种性质幅度模式的空间分布。对 2-D 图像显示的基本思路就是将 2-D 图像看作在 2-D 空间位置上的一种亮度分布。一般利用显示设备在每个空间位置赋以不同灰度来显示图像,见例 1.1.1。

例 1.1.1 图像显示示例

图 1.1.1 给出两幅典型的灰度数字图像。如图(a)所示的坐标系常在屏幕显示中采用(屏幕扫描是从左向右,自上而下进行的),其坐标的原点 O (origin)在图像的左上角,纵轴标记图像的列,横轴标记图像的列。 $I(r, c)$ 既可代表这幅图像,也可表示在 (r, c) 行列交点处的图像值。图(b)所示的坐标系常在图像计算中采用,它的原点位于图像的左下角,横轴为 X 轴,纵轴为 Y 轴(与常用的笛卡尔坐标系相同)。注意 $f(x, y)$ 既可代表这幅图像,也可表示在 (x, y) 坐标处像素的值。

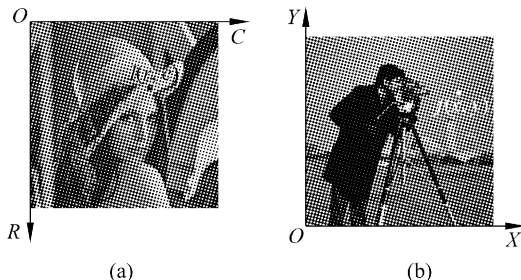


图 1.1.1 图像示例

□

1.1.2 图像工程概述

1. 图像工程及其三个层次

图像技术在广义上是各种与图像有关的技术的总称,例如图像的采集、获取、编码、存储和传输,图像的合成和产生,图像的显示和输出,图像的变换、增强、恢复(复原)和重建,图像的分割,目标的检测、表达和描述,特征的提取和测量,序列图像的校正,3-D 景物的重建复原,图像数据库的建立、索引和抽取,图像的分类、表示和识别,图像模型的建立和匹配,图像和场景的解释和理解,以及基于它们的判断决策和行为规划等等。另外,图像技术还可包括为完成上述功能而进行的硬件设计及制作等方面的技术。随着人们研究的深入和应用的广泛,已有的图像技术在不断更新和扩展,许多新的图像技术也在不断诞生。对各种典型图像技术的原理和方法的介绍是本套书的主要内容。

尽管计算机图像技术的历史可追溯到 1946 年世界上第一台电子计算机的诞生,但其得到极大的重视和长足的发展还是近年来的事。由于出现了许多新理论、新方法、新算法、新手段、新设备、新应用,所以对各种图像技术进行综合集成的研究和应用需要一个整体框架,这个框架就是图像工程[章 1996a]。众所周知,工程是指将自然科学的原理应用到工业部门而形成的各学科的总称。图像工程学科则是一个将数学、光学等基础科学的原理,结合在图像应用中积累的经验而发展起来的,将各种图像技术集中结合起来的,对整个图像领域进行研究应用的新学科。

图像工程的内容非常丰富,覆盖面也很广,根据抽象程度和研究方法等的不同可分为三个层次,即图像处理、图像分析和图像理解。换句话说,图像工程是既有联系又有区别的图像处理、图像分析及图像理解三者的有机结合,同时还包括对它们的工程应用。

图像处理可看作一大类图像技术,着重强调在图像之间进行的变换。虽然人们常用图像处理泛指各种图像技术,但比较狭义的图像处理技术的主要目标是要对图像进行各种加工以改善图像的视觉效果并为其后的目标自动识别打基础,或对图像进行压缩编码以减少图像存储所需的空间或图像传输所需的时间(从而也降低了对传输通路的要求)。本套书上册已集中介绍了图像处理。

图像分析则主要是对图像中感兴趣的目标进行检测和测量,以获得它们的客观信息从而建立对图像和目标的描述。如果说图像处理是一个从图像到图像的过程,则图像分析是一个从图像到数据的过程。这里数据可以是对目标特征测量的结果,或是基于测量的符号表示。它们描述了图像中目标的特点和性质。本册书将集中介绍图像分析。

图像理解的重点是在图像分析的基础上,进一步研究图像中各目标的性质和它们之间的相互联系,并通过对图像内容含义的理解得出对原来客观场景的解释,从而指导和规划行动。如果说图像分析主要是以观察者为中心研究客观世界(主要研究可观察到的事物),那么图像理解在一定程度上是以客观世界为中心,借助知识、经验等来把握整个客观

世界(包括没有直接观察到的事物)。本套书下册将集中介绍图像理解。

如上所述,图像处理、图像分析和图像理解是处在三个抽象程度和数据量各有特点的不同层次上,可参见图 1.1.2。图像处理是比较低层的操作,它主要在图像像素级上进行处理,处理的数据量非常大。图像分析则进入了中层,分割和特征提取把原来以像素描述的图像转变成比较简洁的非图形式的描述。图像理解主要是高层操作,基本上是对从描述抽象出来的符号进行运算,其处理过程和方法与人类的思维推理可以有許多类似之处。另外由图 1.1.2 可见,随着抽象程度的提高,数据量是逐渐减少的。具体说来,原始图像数据经过一系列的处理过程逐步转化为更有组织和用途的信息。在这个过程中,一方面语义不断引入,操作对象发生变化,数据量得到了压缩。另一方面,高层操作对低层操作有指导作用,因此能提高低层操作的效能。

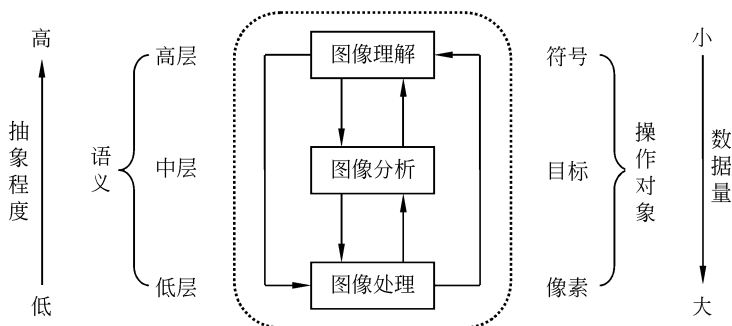


图 1.1.2 图像工程三层次示意图

2. 图像技术和应用分类

图像工程研究内容非常广泛,覆盖面也很大,涉及到许多图像技术和应用。根据近十年对图像工程文献的统计分类[章 1996a],[章 1996b],[章 1997a],[章 1998a],[章 1999a],[章 2000a],[章 2001a],[章 2002a],[章 2003a],[章 2004a],[章 2005a],图像技术和应用可分成 20 类,见表 1.1.1。

表 1.1.1 图像技术和应用分类表

大类	名称	小类	名称
A	图像处理	A1	图像采集、获取及存储(包括成像方法、摄像机校正等)
		A2	图像重建(从投影等重建图像)
		A3	图像变换、滤波、增强、恢复/复原、校正等
		A4	图像(视频)压缩编码(包括算法研究、国际标准实现等)
		A5	图像数字水印和图像信息隐藏

续表

大类	名称	小类	名称
B	图像分析	B1	边缘检测、图像分割
		B2	目标表达、描述、测量(包括二值图处理等)
		B3	目标颜色、形状、纹理、空间、运动等的分析
		B4	目标检测、提取、跟踪、识别和分类
		B5	人脸和器官的检测、定位与识别(人体生物特征提取和验证)
C	图像理解	C1	(序列、立体)图像配准、匹配、融合、镶嵌等
		C2	3-D 表示、建模、重构、场景恢复
		C3	图像感知、解释、推理(包括语义描述、信息模型、专家系统等)
		C4	基于内容的图像和视频检索
D	技术应用	D1	硬件系统和快速/并行算法
		D2	视频、通信(包括电视广播等)
		D3	文档(包括文字、数字、符号等)
		D4	生物、医学
		D5	遥感、雷达、测绘
		D6	其他(不在以上各应用类)

3. 图像工程和相关学科领域

图像工程是一门系统地研究各种图像理论、技术和应用的新的交叉学科。从它的研究方法来看,它与数学、物理学、生理学、心理学、电子学、计算机科学等许多学科可以相互借鉴;从它的研究范围来看,它与模式识别、计算机视觉、计算机图形学等多个专业又互相交叉。图 1.1.3 给出图像工程与一些相关学科和领域的联系和区别[章 1996b]。另外,图像工程的研究进展与人工智能、神经网络、遗传算法、模糊逻辑等理论和技术都有密切的联系,它的发展应用与通信、医学、遥感、文档处理和工业自动化等许多领域也是不可分割的。

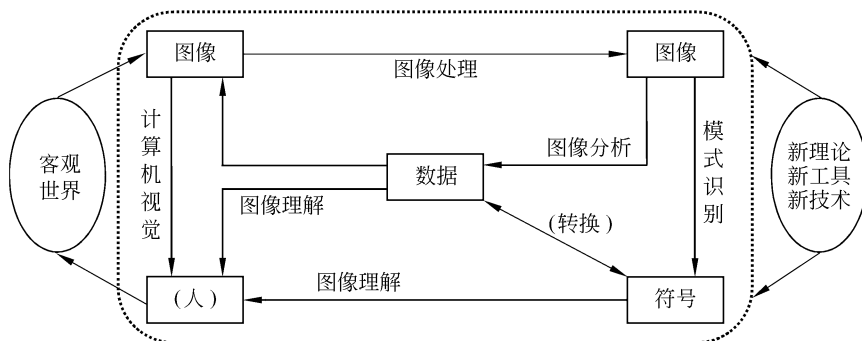


图 1.1.3 图像工程与相关学科和领域的联系与区别

从图 1.1.3 可以看到图像工程三个层次各自不同的输入输出内容以及它们与计算机图形学、模式识别、计算机视觉等的关系。图形学原本指用图形(graph)、图表(chart)、绘图(drawing)等形式表达数据信息的科学,而计算机图形学研究的就是如何利用计算机技术来产生这些形式。如果将它和图像分析对比,两者的处理对象和输出结果正好对调。计算机图形学试图从非图像形式的数据描述来生成(逼真的)图像。另一方面,(图像)模式识别与图像分析则比较相似,所以本册书也给予一定的介绍。它们有相同的输入,而不同的输出结果可以比较方便地进行转换。至于计算机视觉主要强调用计算机实现人的视觉功能,这中间实际上用到图像工程三个层次的许多技术,但目前的研究内容主要与图像理解相结合。

由此看来,以上学科互相联系,覆盖面有所重合。事实上这些名词也常混合使用,它们在概念上或实用中并没有绝然的界限。在许多场合和情况下,它们只是专业和背景不同的人习惯使用的不同术语。它们虽各有侧重但常常是互为补充的。另外以上各学科都得到了包括人工智能、神经网络、遗传算法、模糊逻辑等新理论、新工具、新技术的支持(见图 1.1.3),所以它们又都在近年得到了长足进展。总的来说,图像工程既能较好地许多相近学科兼蓄并容,也进一步强调了图像技术的应用,选用图像工程能很好地概括整个图像领域的研究应用。

1.2 图像分析概论

1.2.1 图像分析定义和研究内容

1. 图像分析的定义

图像分析处在图像工程的中层,既要借助图像处理的结果又要为图像理解打基础。对图像分析的定义和描述也有不同的说法,下面给出几个示例:

(1) 图像分析的目的是基于从图像或图像序列中提取的信息构建对场景的描述[Rosenfeld 1984]。

(2) 图像分析常指利用计算机处理图像以发现图像中有哪些目标[Pavlidis 1988]。

(3) 图像分析对图像和图像中的目标进行量化和分类[Mahdavi 1992]。

(4) 图像分析考虑如何从多维信号中提取有意义的测量数据[Young 1993]。

(5) 图像分析的中心问题是将有若干兆字节的灰度图像或彩色图像简化成只有若干个有意义和有用的数字[Russ 2000]。

在本书中,图像分析被看作从图像出发,对其中感兴趣目标进行检测、提取、表达、描述和测量,从而获取客观信息,输出数据结果的过程和技术。

2. 图像处理和图像分析的区别和联系

图像处理和图像分析是有区别的,这在 1.1.2 小节已叙述。也有人认为图像处理(如同文字处理、食品处理那样)是一种重组(rearrangement)的科学[Russ 2002]。对一个像素来说,它的属性值有可能根据其相邻像素的值而改变,或它本身被移动到图像中的其他地方,但整幅图像中像素的绝对数量(sheer quantity)不会变。例如,在文字处理中,可以剪切或复制段落,进行拼音检查或改变字体而不减少文字的数量。又如在食品处理中,也是要重组各种成分(ingredient)以产生更好(palatable)的组合,而不是要提炼出各种成分的精华(essence)。但图像分析就不同,它的目标就是试图找出那些精练地表达图像重要信息的描述系数(常可用数字表示)。

图像处理和图像分析又是有联系的。在许多从采集图像到分析出结果的过程中,都使用了各种图像处理的技术。换句话说,图像分析的工作常基于图像处理的结果进行。

例 1.2.1 图像分析应用流程示例

图 1.2.1 给出一个 3-D 图像分析计划[Young 1988]的流程和涉及的步骤,由此可见图像处理和图像分析的一些联系:

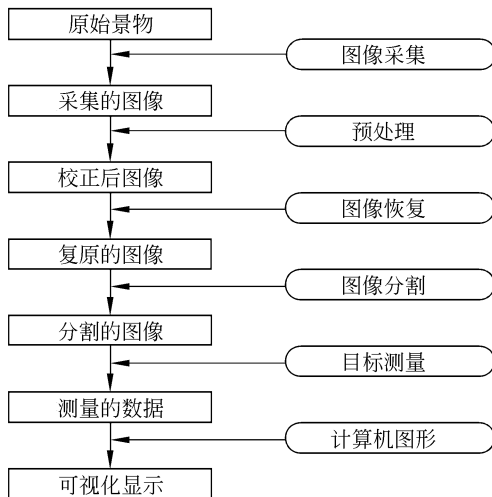


图 1.2.1 一个包含多个步骤的图像分析流程图



- (1) 图像采集:由原始景物获得图像;
- (2) 预处理:校正采集图像过程中产生的失真;
- (3) 图像恢复:对校正后的图像进行过滤以减少噪声的影响;
- (4) 图像分割:将图像分解成需要分析的目标和其他背景;

- (5) 目标测量:从数字化的图像数据中测量原始景物的“模拟”性质;
- (6) 可视化显示:将测量的结果以一种对用户有用且容易理解的方式表示出来。

3. 图像分析和模式识别

图像分析的主要功能模块可见图 1.2.2,它包括对图像的分割,对目标的表达描述和对参数的测量分析。为完成这些工作,还需要使用和借助许多相应的理论、工具和技术。图像分析的工作围绕其操作对象——目标——进行,图像分割就是要从图像中分离出目标,目标表达则是要有效地表示目标,而参数测量是希望获得目标的特性数据。由于目标是像素集合,所以图像分析对像素间的联系和关系(例如邻域,连通等)更为重视。

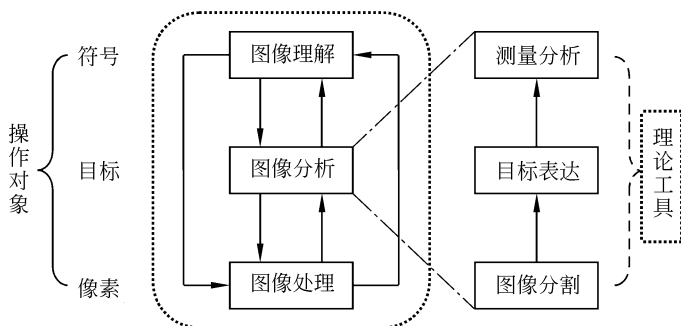


图 1.2.2 图像分析主要功能模块

图像分析和模式识别有密切的关系。模式识别的目的是将不同的模式分类,将目标从背景中分割出来可看作将不同的区域区分出来,而为了进一步将区域分类,也需要确定描述区域特性的参数(特征)。对图像进行模式识别的一个概括流程可参见图 1.2.3。对输入图进行分割得到目标图,提取图中目标的特征进行测量,根据得到的目标特征量(测量结果)就可将目标进行分类。

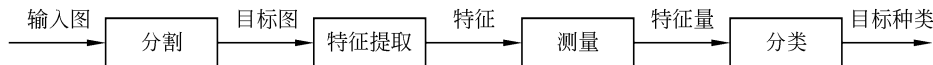


图 1.2.3 图像模式识别流程

1.2.2 图像分析系统

1. 历史和发展

利用各种图像分析设备和技术可构建图像分析系统以完成许多图像分析的工作。下面是图像分析系统早期历史上的几个事件[Joyce 1985]:

- (1) 第一个使用电视摄像机扫描图像进行分析的系统是由一个金属研究所研制的,

其最早的模型系统(prototype)诞生于 1963 年。

(2) 电子纪元真正开始于 1969 年,那一年美国的一个公司(Bausch and Lomb)生产了一种图像分析仪,它能在小型计算机中存储一幅完整的黑白图像。

(3) 1977 年,英国的 Joyce LoebI 公司提出了一种可称为第 3 代的图像分析系统,该系统采用软件替代了硬件。

图像分析系统在 20 世纪 80 年代和 90 年代得到了深入的研究、快速的发展和广泛的应用。期间,人们提出了许多典型的系统结构,建立了许多实用的应用系统(如可见[Perry 1990],[Ten Kate 1990],[Zhang 1991b],[Takashi 1992],[Jähne 1999c],[Russ 2002],[章 2001d])。

图像分析系统要以硬件为物理基础。对图像的各种处理一般可用算法的形式描述,而大多数的算法可用软件实现,所以现在有许多图像分析系统只需用到普通的通用计算机。为了提高运算速度或克服通用计算机的限制可使用特制的硬件。进入 20 世纪 90 年代后,人们设计了各种与工业标准总线兼容的可以插入微机或工作站的图像卡。这些图像卡包括用于图像数字化和临时存储的图像采集卡,用于以视频速度进行算术和逻辑运算的算术逻辑单元,以及帧缓存等存储器。近年来,系统的集成性进一步提高,片上系统(system on chip,SOC)也得到快速发展。这些硬件方面的进展不仅减少了成本,也促进了图像处理专用软件的发展。现在有许多图像分析系统和图像处理分析软件包已商品化。

2. 分析系统框图

一个基本的图像分析系统的构成可由图 1.2.4 来表示。图中各模块都有特定的功能,分别是采集、合成、输入、预处理、通信、存储、分析,最后输出或者是数据(对目标测量的数据,分析的结果数据)或者是用于进一步理解的符号表达。图像分析系统的基本工作流程是:首先通过采集或合成获得系统的输入,它们或被先存储起来,或直接经过预处理后进行进一步分析,分析的结果或输出使用(需要时借助通信网络)或用作下一步理解的输入基础。

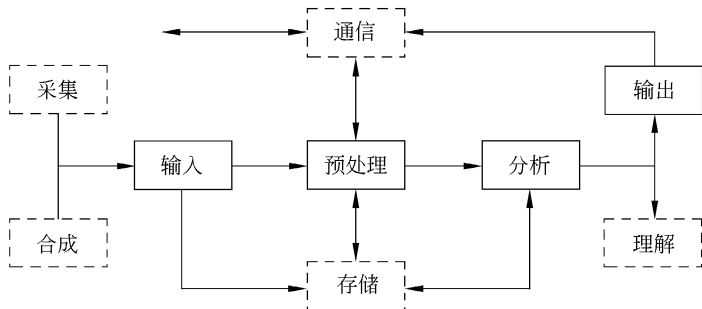


图 1.2.4 图像分析系统的构成示意图

在图 1.2.4 中,实线框的模块表示直接属于图像分析系统的模块,将在本册书中详细地进行介绍;虚线框的模块主要与图像处理系统相关,尽管图像输入(通过采集或合成)也是图像分析系统所必需的,因为基本情况已在本套书上册介绍过,本册只在第 2 章概括介绍和回顾一下。另外,关于通信的内容可查阅其他关于通信网络的书籍,而关于合成的内容也可查阅其他计算机图形学方面的书籍。

1.3 主要内容和安排

本书主要介绍图像分析的基本概念、基础理论和实用技术。通过综合使用这些理论和技术可构建各种图像分析系统,并具体应用于解决实际问题。另外,通过对图像工程中中间层次内容的介绍,一方面可帮助读者在利用图像工程低层技术得到的结果基础上获得更多的信息,解决更多的实际图像应用中的具体问题,另一方面也可帮助读者进一步学习和研究图像工程高层技术。

1. 整体框架

图 1.2.4 中的分析模块其实是很复杂的,一般还可进一步分解为对应不同具体工作的功能模块。根据应用目的的不同,构成分析模块的功能模块也各不相同。图 1.2.1 列出了典型图像分析的流程图,图 1.2.2 也给出了图像分析的主要功能模块,本书对图像分析介绍的整体框架即据此构建的。

全书主要内容分在 15 章正文和 1 个附录中(具体介绍见本节的各章概述),其中正文内容可归纳为 5 个部分:

- (1) 基础/预备知识(第 1 章到第 3 章);
- (2) 图像分割(第 4 章到第 7 章);
- (3) 目标表达、描述和测量(第 8 章到第 10 章);
- (4) 专项分析技术(第 11 章到第 13 章);
- (5) 数学形态学(第 14 章和第 15 章)。

全书的构架和上述 5 个部分的相互关系可参见图 1.3.1。

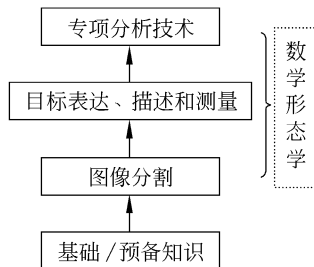


图 1.3.1 全书构架

2. 各章概述

本书各章自成体系,在每章开始除整体内容介绍外,均有对各节的概述,在每章结束均有“总结与复习”一节,其中给出各节小结和参考文献介绍以及思考题和练习题(部分题有解答)。

下面对各章(也包括二级目录)的内容给予简单概述。

第 1 章是对图像分析(也是本书主要内容)的全面概括介绍。首先概述了图像和数字图像的基本概念和定义,以及从图像技术到图像工程的发展。接着在对图像工程的各个