

# 第1章 绪论

## 1.1 序言

人类传递信息的主要媒介是语音和图像。据统计,在人类接收的信息中,听觉信息占20%,视觉信息占60%,其他如味觉、触觉、嗅觉加起来不过占20%。所以,作为传递信息的重要媒体和手段——图像信息是十分重要的,俗话说的“百闻不如一见”、“一目了然”都反映了图像在传递信息中的独到之处。

照相术的发明和研究可认为是图像处理的起源,世界上公认的第一幅照片(见图1-1)由法国人尼埃普斯于1827年拍摄,1839年法国科学与艺术学院宣布达盖尔(见图1-2)获得摄影术专利。



图1-1 世界上第一幅照片



图1-2 摄影专利获得者达盖尔

图像处理技术的最早应用当属遥感与医学领域。世界上出现第一幅照片(1827年)及意大利人乘飞机拍摄了第一张照片(1909年),通常被认为是遥感技术的起源,也是图像处理技术的兴起。在医学领域中利用图像进行直观诊断可追溯至1895年X射线的发现。德国维尔茨堡大学校长兼物理研究所所长伦琴教授(1845—1923年,见图1-3),在他从事阴极射线的研究时,发现了X射线。1895年11月8日傍晚,他在研究阴极射线时,为了防止外界光线对放电管的影响,也为了不使管内的可见光漏出管外,他把房间全部弄黑,还用黑色硬纸给放电管做了个封套。为了检查封套是否漏光,他给放电管接上电源,当他看到封套没有漏光时,感到十分满意。可是,当他切断电源后,却意外地发现一米以外的一个小工作台上亮着闪光,闪光是从一块荧光屏上发出的。他非常惊奇,因为阴极射线只能在空气中传播几厘米,这是别人和他自己的实验早已证实的结论。于是他全神贯注地重复刚才的实验,把荧光屏一步步地移远,直到2米以外仍可见到屏上有荧光。至此,伦琴确信这不是阴极射线了。治学态度非常严谨认真的伦琴经过反复实验,确信这是一种尚未为人所知的新射线,便取名为X射线。他发现的X射线可穿透上千页书、2~3厘米厚的木板、几厘米厚的硬橡皮、15毫米厚的铝板等。可是1.5毫米的铅板几乎就完全把X射线挡住了。

他还偶然发现X射线可以穿透肌肉照出手骨轮廓,有一次他夫人(见图1-5)到实验室来看他时,他请她把手放在用黑纸包严的照相底片上,然后用X射线对准照射15分钟,显影后,底片上清晰地呈现出他夫人的手骨图像,手指上的结婚戒指也很清楚,如图1-4所示。这就是第一张具有历史意义的图像。这类成像技术后来在医学领域发挥了巨大作用,同时也促进了图像技术的发展。



图 1-3 德国科学家伦琴



图 1-4 世界第一张 X 光图像



图 1-5 伦琴教授的夫人

数字图像处理技术起源于 20 世纪 20 年代,当时通过海底电缆从英国伦敦到美国纽约传输了一幅照片,它采用了数字压缩技术。就当时的通信技术水平来看,如果不压缩,传一幅图像要一星期时间,压缩后只用了 3 小时。1964 年美国的“喷气推进实验室”处理了由太空船“徘徊者七号”发回的月球照片,这标志着第三代计算机问世后数字图像处理概念开始得到应用。其后,数字图像处理技术发展迅速,目前已成为工程学、计算机科学、信息科学、统计学、物理、化学、生物学、医学甚至社会科学等领域中各学科之间学习和研究的对象。如今数字图像处理技术已给人类带来了巨大的经济效益和社会效益。未来,它不仅在理论上会有更深入的发展,在应用上亦是科学的研究、社会生产乃至人类生活中不可缺少的强有力的工具。

当前图像处理面临的主要任务是研究新的处理方法,构造新的处理系统,开拓更广泛的应用领域,构建图像处理自己的理论体系。

图像处理科学对人类具有重要意义,它表现在如下三个方面。

#### (1) 图像是人们从客观世界获取信息的重要来源

人类通过感觉器官从客观世界获取信息,即通过耳、目、口、鼻、手以听、看、味、嗅和触摸的方式获取信息。在这些信息中,视觉信息占 60%~70%。视觉信息的特点是信息量大,传播速度快,作用距离远,有心理和生理作用,加上大脑的思维和联想,具有很强的判断能力。其次是人的视觉十分完善,人的眼睛灵敏度高,鉴别能力强,不仅可以辨别景物,还能辨别别人的情绪。由此可见,图像信息对人类来说是十分重要的。

#### (2) 图像信息处理是人类视觉延伸的重要手段

众所周知,人的眼睛只能看到可见光部分,但就目前科技水平看,能够成像的并不仅仅是可见光。一般来说可见光的波长为  $0.38\text{~}0.8\mu\text{m}$ ,而迄今为止人类发现可成像的射线已有多种,如: $\gamma$  射线波长为  $0.003\text{~}0.03\text{nm}$ ;X 射线波长为  $0.03\text{~}3\text{nm}$ ;紫外线波长为  $3\text{~}300\text{nm}$ ;红外线波长为  $0.8\text{~}300\mu\text{m}$ ;微波波长为  $0.3\text{~}100\text{cm}$ 。这些射线均可以成像。利用图像处理技术把这些不可见射线所成图像加以处理并转换成可见图像,实际上大大延伸了人类视觉器官的功能,扩大了人类认识客观世界的能力。

#### (3) 图像处理技术对国计民生有重要意义

图像处理技术发展到今天,许多技术已日趋成熟。在各个领域的应用取得了巨大的成功和显著的经济效益,在工程领域、工业生产、军事、医学以及科学的研究中的应用已十分普遍。例如:通过分析资源卫星得到的照片可以获得地下矿藏资源的分布及埋藏量;利用红外线、微波遥感技术不仅可以进行农作物估产、环境污染监测、国土普查,而且还可以侦查到隐蔽的军事设施;X 射线 CT 已广泛应用于临床诊断,由于它可得到人体内部器官的断层图像,因此,可准确地确定病灶位置,为诊断和治疗疾病带来了极大的方便。至于在工业生产中的设计自动化及产品质量检验中更是大有可为。在

安全保障及监控方面图像处理技术更是不可缺少的基本技术,如无损安全检查、指纹、虹膜、掌纹、人脸等生物特征识别与认证等应用例子随处可见;在信息安全中的信息隐藏及数字水印技术以其不可替代的优势也正受到广泛的关注,至于在通信、多媒体技术及人工智能中,数字图像处理更是重要的关键技术。因此,图像处理技术在国计民生中的重要意义是显而易见的。正因为如此,图像处理理论和技术受到了各界的广泛重视。在科学工作者的不懈努力之下,已取得了令人瞩目的成就,并正在向更加深入及更高的层次发展。

## 1.2 图像处理技术的分类

图像处理技术基本可分为两大类,即模拟图像处理和数字图像处理。

### 1. 模拟图像处理

模拟图像处理(Analog Image Processing)包括:光学处理(利用透镜)和电子处理,如照相、遥感图像处理、电视信号处理等。模拟图像处理的特点是速度快,一般为实时处理,理论上讲可达到光的速度,并可同时并行处理。电视图像是模拟信号处理的典型例子,它处理的是活动图像,25 帧/秒。模拟图像处理的缺点是精度较差,灵活性差,很难有判断能力和非线性处理能力。

### 2. 数字图像处理

数字图像处理(Digital Image Processing)一般都用计算机处理或实时的硬件处理,因此,也称之为计算机图像处理(Computer Image Processing)。其优点是处理精度高,处理内容丰富,可进行复杂的非线性处理,有灵活的变通能力,一般来说只要改变软件就可以改变处理内容。其缺点是处理速度还有待提高,特别是进行复杂的处理更是如此。一般情况下处理静止画面居多,如果实时处理一般精度的数字图像,计算机大约要具有 100MIPS 的处理能力;其次是分辨率及精度尚有一定限制,如一般精度图像是  $512 \times 512 \times 8$  bits,分辨率高的可达  $2048 \times 2048 \times 12$  bits,如果精度及分辨率再提高,所需处理时间将显著地增加。

广义上讲,一般的数字图像很难为人所理解,因此,数字图像处理也离不开模拟技术,为实现人—机对话和自然的人—机接口,特别需要人去参与观察和判断的情况下,模拟图像处理技术是必不可少的。

## 1.3 数字图像处理的特点

数字图像处理的特点表现在以下几个方面。

### (1) 图像信息量大

在数字图像处理中,一幅图像可看成是由图像矩阵中的像素(pixel)组成的,每个像素的灰度级至少要用 6bit(单色图像)来表示,一般采用 8bit(彩色图像),高精度的可用 12bit 或 16bit。一般分辨率的图像像素数为  $256 \times 256$  像素、 $512 \times 512$  像素,高分辨率图像可达  $1024 \times 1024$  像素或  $2048 \times 2048$  像素。

例如:  $256 \times 256 \times 8 = 64$  Kbytes,  $512 \times 512 \times 8 = 256$  Kbytes

$1024 \times 1024 \times 8 = 1$  Mbytes,  $2048 \times 2048 \times 8 = 4$  Mbytes

X 光照片一般有  $64 \sim 256$  Kbytes 的数据量,一幅遥感图像有  $3240 \times 2340 \times 4 = 30$  Mbytes,因此,大数据量为存储、传输和处理都带来了巨大的困难。

### (2) 图像处理技术综合性强

在数字图像处理中涉及的基础知识和专业技术相当广泛。一般来说涉及通信技术、计算机技

术、电子技术、电视技术,至于涉及的数学、物理等方面的基础知识就更多。

当今的图像处理理论大多是通信理论的推广,很多理论是把通信中的一维问题推广到二维,以便于分析。在此基础上,逐步发展自己的理论体系。因此,图像处理技术与通信技术休戚相关。

在图像处理工程中的信息获取和显示技术主要源于电视技术,其中的摄像、显示、同步等各项技术是必不可少的。

计算机已是图像处理的常规工具。在图像处理中涉及软件、硬件、网络、接口等多项技术,特别是并行处理技术在实时图像处理中显得十分重要。

图像处理技术的发展涉及越来越多的基础理论知识,雄厚的数理基础及相关的边缘学科知识对图像处理科学的发展有越来越大的影响。总之,图像处理科学是一项涉及多学科的综合性科学。

### (3) 图像信息理论与通信理论密切相关

早在 1948 年,Shannon 就发表了“*A mathematical Theory of Communication*”(通信中的数学理论)一文,它奠定了信息论的基础。此后,信息理论已渗透到了各个领域。图像信息论也属于信息论科学中的一个分支。从当今的理论发展看,我们可以说,图像信息论是在通信理论研究的基础上发展起来的。图像理论是把通信中的一维时间问题推广到二维空间上来研究的,也就是说,通信研究的是一维时间信息;图像研究的是二维空间信息;通信理论研究的是时间域和频率域的问题;图像理论研究的是空间域和空间频率域(或变换域)之间的关系;通信理论中认为:任何一个随时间变化的波形都是由许多频率不同、振幅不同的正弦波组合而成的;图像理论认为:任何一幅平面图像都是由许多频率、振幅不同的  $x$ - $y$  方向的空间频率波相叠加而成的,高空间频率波决定图像的细节,低空间频率波决定图像的背景和动态范围。

总之,通信中的一维理论都可推广到二维来研究和分析图像处理问题,尽管有些理论尚不完全贴切,但对图像自身理论体系的形成有极大的借鉴意义。

## 1.4 数字图像处理的主要方法及主要内容

### 1.4.1 数字图像处理方法

数字图像处理方法大致可分为两大类,即空域法和变换域法。

#### 1. 空域法

这种方法是把图像视为平面中各个像素组成的集合,然后直接对这个二维函数进行相应的处理。空域处理法主要有两大类:

(1) 邻域处理法。包括梯度运算(Gradient Algorithm)、拉普拉斯算子运算(Laplacian Operation)、平滑算子运算(Smoothing Operation)和卷积运算(Convolution Algorithm)等。

(2) 点处理法。包括灰度处理(Grey Processing),面积、周长、体积和重心运算等。

#### 2. 变换域法

数字图像处理的变换域处理法是首先对图像进行正交变换,得到变换域系数阵列,然后再施行各种处理,处理后再将其反变换到空间域,得到处理结果。

这类处理包括滤波、数据压缩、特征提取等处理。

### 1.4.2 数字图像处理的主要内容

完整的数字图像处理工程大体上可分为以下几个方面。

## 1. 图像信息的获取 (Image Information Acquisition)

就数字图像处理而言,图像信息获取主要是把一幅图像转换成适合计算机或数字设备处理的数字信号。这一过程主要包括摄取图像、光电转换及数字化等几个步骤。通常图像获取的方法有如下几种。

①电视摄像机(Video Camera);②飞点扫描器(flying point Scanner);③扫描鼓;④扫描仪;⑤微光密度计;⑥遥感中常用的图像获取设备,如光学摄影-摄像机、多光谱相机等,MSS 多光谱扫描仪,微波辐射计,侧视雷达、真实空孔径雷达、合成孔径雷达(SAR)等;⑦Kinect RGB-D 图像获取设备;⑧由三角光法、结构光法和飞行时间法等制作的三维图像信息获取设备和方法。

## 2. 图像信息的存储 (Image Information Storage)

图像信息的突出特点是数据量巨大。一般作档案存储主要采用磁带、磁盘或光盘。为解决海量存储问题,主要研究数据压缩、图像格式、图像数据库以及图像检索技术等。其中,图像压缩和检索是当前研究的热点之一。

## 3. 图像信息的传送 (Image information transmission)

图像信息的传送可分为系统内部传送与远距离传送。内部传送多采用 DMA (Direct Memory Access) 技术以解决速度问题。远距离传送主要研究图像通信问题。电视是大家熟知的图像传输方式,目前有各种制式和标准,如彩色电视的 NTSC、PAL、SECAM 制式。会议电视的 H. 320、H. 323、RTP/RTCP、UDP 等传输协议,以及 H. 261、H. 263、H. 264、H. 265、H. 26L、MPEG1、MPEG2、MPEG4、MPEG7 等编码标准。图像通信主要解决占用带宽问题,正如当前 5G 的特点那样,低延时、高速率是流畅传输高清、超高清视频的基本要求之一。

## 4. 数字图像的处理 (Digital Image Processing)

目前,数字图像处理多半采用计算机处理,因此,有时也称为计算机图像处理 (Computer Image Processing)。数字图像处理概括地说主要包括如下几项内容:

### (1) 几何处理 (Geometrical Processing)

几何处理主要包括坐标变换,图像的放大、缩小、旋转、移动,多幅图像配准,全景畸变校正,扭曲校正,周长、面积、体积计算等。其中,图像配准问题是十分重要的处理方法之一,它涉及众多的数学变换问题,特别是在医学图像处理中具有重要的应用价值。

### (2) 算术处理 (Arithmetic Processing)

算术处理主要对图像施以加、减、乘、除等运算,虽然该处理主要针对像素点的处理,但非常有用,如医学图像的减影处理就有显著的效果,如图 1-6 所示。

### (3) 图像增强 (Image Enhancement)

图像增强处理主要是突出图像中感兴趣的信息,而减弱或去除不需要的信息,从而使有用信息得到加强,便于区分或解释。主要

方法有直方图修改技术、伪彩色增强法 (Pseudo Color)、灰度窗口、图像平滑、图像尖锐化处理、同态处理等技术。

### (4) 图像复原 (Image Restoration)

图像复原处理的主要目的是去掉干扰和模糊,恢复图像的本来面目。典型的例子如去噪就属于复原处理。图像噪声包括随机噪声和相干噪声,随机噪声干扰表现为麻点干扰,相干噪声表现为网状干扰。去模糊也是复原处理的任务。这些模糊来自透镜散焦、相对运动、大气湍流、云层遮挡等。

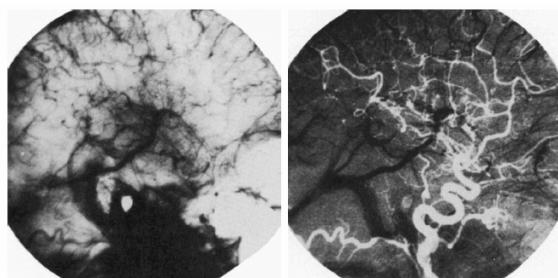


图 1-6 减影处理的实例

这些干扰可用维纳滤波、逆滤波、同态滤波等方法加以去除。图像修复也是图像复原处理的重要任务,近年来,基于偏微分方程的图像修复取得了令人瞩目的结果,这一数学工具的应用有力地促进了图像处理技术的发展。

#### (5) 图像重建 (Image Reconstruction)

几何处理、算术处理、图像增强、图像复原都是从图像到图像的处理,即输入的原始数据是图像,处理后输出的也是图像,而重建处理则是从数据到图像的处理。也就是说输入的是某种数据,而处理结果得到的是图像。该处理的典型应用就是 CT 技术,CT 技术发明于 1972 年,早期为 X 光(X-ray)CT,后来发展有 ECT、超声 CT、核磁共振(NMR)等。图像重建的主要算法有代数法、迭代法、傅里叶反投影法、卷积反投影法等,其中以卷积反投影法运用最为广泛,因为它的运算量小、速度快。值得注意的是三维重建算法发展很快,而且由于与计算机图形学相结合,把多个二维图像合成三维图像,并加以光照模型和各种渲染技术,能生成各种具有强烈真实感及纯净的高质量图像。三维图形的主要算法有线框法、表面法、实体法、彩色分域法等,这些算法在计算机图形学中都有详尽的介绍。三维重建技术也是当今颇为热门的虚拟现实和科学计算可视化技术的基础。

#### (6) 图像编码 (Image Encoding)

图像编码的研究属于信息论中信源编码范畴,其主要宗旨是利用图像信号的统计特性及人类视觉的生理学及心理学特性对图像信号进行高效编码,即研究数据压缩技术,以解决数据量大的矛盾。一般来说,图像编码目的有三个:①减少数据存储量;②降低数据率以减少传输带宽;③压缩信息量,便于特征抽取,为识别做准备。

就编码而言,M. Kunt 提出第一代、第二代编码的概念。Kunt 把 1948 年至 1988 年这 40 年中研究的以去除冗余为基础的编码方法称为第一代编码。如 PCM、DPCM、 $\Delta$  M、亚取样编码法;变换编码中的 DFT、DCT、Walsh-Hadamard 变换等方法,以及以此为基础的混合编码法均属于经典的第一代编码法。而第二代编码方法多是 20 世纪 80 年代以后提出的新的编码方法,如金字塔编码法、Fractal 编码法、基于神经元网络的编码法、小波变换编码法、模型基编码法等。现代编码法的特点是:①充分考虑人的视觉特性;②恰当地考虑对图像信号的分解与表述;③采用图像的合成与识别方案压缩数据率。

图像编码应是经典的研究课题,自 1948 年以来的图像编码已有多种成熟的方法得到应用。随着多媒体技术的发展已有若干编码标准由 ITU-T 制定出来。如 JPEG、H. 261、H. 263、H. 264、H. 265、MPEG1、MPEG2、MPEG4、MPEG7、JBIG(二值图像压缩,Joint Bi-level Image Coding Expert Group)等。相信经广大科技工作者的不懈努力,未来会有更多、更有效的编码方法问世,以满足多媒体信息处理及通信的需要。

#### (7) 图像识别 (Image Recognition)

图像模式识别是数字图像处理的又一研究领域。当今,模式识别方法大致有三种,即统计识别法、句法结构模式识别法和模糊识别法。

统计识别法侧重于特征,句法结构模式识别法侧重于结构和基元,模糊识别法是把模糊数学的一些概念和理论用于识别处理。在模糊识别处理中充分考虑了人的主观概率,同时也考虑了人的非逻辑思维方法及人的生理、心理反映,这一独特性的识别方法目前正处于研究阶段,方法尚未成熟。

#### (8) 图像理解 (Image Understanding)

图像理解是由模式识别发展起来的方法。该处理输入的是图像,输出的是一种描述。这种描述不仅是单纯地用符号做出详细的描绘,而且要利用客观世界的知识使计算机进行联想、思考及推论,从而理解图像所表现的内容。图像理解有时也叫景物理解。在这一领域还有相当多的问题需要进行深入研究。

以上所述的八项处理任务是图像处理所涉及的主要内容。总的说来,经过多年的发展,图像处理经历了从静止图像到活动图像;从单色图像到彩色图像;从客观图像到主观图像;从二维图像到三

维图像的发展历程。特别是与计算机图形学的结合已能产生高度逼真、非常纯净、更有创造性的图像。由此派生出来的虚拟现实技术的发展或许将从根本上改变我们的学习、生产和生活方式。

## 5. 图像信息的输出与显示

图像处理的最终目的是为人或机器提供一幅更便于解译和识别的图像。因此,图像输出也是图像处理的重要内容之一。图像的输出有两种,一种是硬拷贝,另一种是软拷贝。其分辨率随着科学技术的发展从  $256 \times 256$ 、 $512 \times 512$ 、 $1024 \times 1024$ ,至今已有  $2048 \times 2048$  像素的超高分辨率显示设备问世。通常的硬拷贝方法有照相、激光拷贝、彩色喷墨打印等几种方法。软拷贝方法有以下几种。

### (1) CRT(Cathode Ray Tube) 显示

自 20 世纪 60 年代以来,在显示技术中,CRT 几乎独霸天下。目前,彩色显像管(CPT)和彩色显示管(CDT)技术已相当成熟。20 世纪 90 年代后期平板显示器件才相继问世。CRT 显示质量好、亮度高、电子束寻址方式简单、制造成本低等都是该种显示器的显著优点。尤其采用微型滤光条(Microfilter)工艺,加之动态聚焦技术的出现,使得 CRT 在对比度、色纯度及光点大小方面都得到了改进。目前,分辨率为  $1280 \times 1024$ 、行频  $64\text{kHz}$ 、点频  $110\text{MHz}$  的 CRT 已很普遍,高分辨率的可达到  $1920 \times 1035$ ,行频达  $80\text{kHz}$ ,视频带宽达  $140\text{MHz}$ 。进一步提高分辨率的主要困难在于显像管的制造和刷新存储器的速度。未来它将被新型显示设备所取代。

### (2) 液晶显示器(LCD)

液晶的发现已有 100 多年的历史,真正用于显示技术的历史不到 50 年,但其发展势头之大,发展速度之快却令人刮目相看。LCD 的突出性能是极吸引人的,它的缺点正在逐步被克服,如 Sharp 公司推出的彩色非晶硅 TFT-LCD 产品,屏幕尺寸 21 英寸,分辨率  $640 \times 480$ ,像素数 921600 点,彩色数 1670 万种。富士通推出的 10.4 英寸显示器的视角可达  $120^\circ$ 。目前,LCD 显示器无论在亮度、对比度、分辨率及反应时间上,还是观察视角和屏幕尺寸上都有极大的改进,在电视和笔记本电脑领域的应用已相当普遍。

### (3) PDP(Plasma Display Panel, 等离子显示器)

这是近几年高速发展的等离子平面屏幕技术的新一代显示设备。它比传统的显示器具有更大的技术优势,主要表现在:

- ① 质量轻、无辐射。
- ② 各个发射单元的结构完全相同,因此不会出现显像管常见的图像几何变形。
- ③ 屏幕亮度非常均匀,没有亮区和暗区。
- ④ 不会受磁场的影响,具有更好的环境适应能力。
- ⑤ 不存在聚焦的问题。
- ⑥ 高亮度、大视角、全彩色和高对比度使图像更加清晰,色彩更加鲜艳;亮度高,因此可在明亮的环境之下欣赏大幅画面的影像。
- ⑦ 彩还原性好,灰度丰富,能够提供格外亮丽、均匀平滑的画面。
- ⑧ 显示画面响应速度快,滞后效应小。

### (4) 场致发光显示器(FED)

场致发光平面显示器有多种,是最新发展起来的彩色平板显示器件。

FED 具有光明的前途。但目前要解决的是大面积的 FED 需要改善发光的均匀性和提高低压荧光粉的发光效率,在实用化中,封接、排气、真空维持等工艺尚有困难,这些问题解决后,FED 大有前途。

### (5) OLED 显示

OLED 也被称为第三代显示技术。OLED 的原文是 Organic Light Emitting Display,中文意思就是“有机发光显示”(也可写成 Organic Light-Emitting Diode,译成有机发光二极管)。其原理是在两电极之间夹上有机发光层,当正负极电子在此有机材料中相遇时就会发光,其组件结构比目前流行的 TFT

LCD 简单,生产成本只有 TFT LCD 的三到四成左右。除了生产成本低,OLED 还有许多优势,比如自身发光的特性。目前 LCD 都需要背光源,但 OLED 通电之后就会自己发光,可以省掉背光源的质量、体积及耗电量,整个显示板 (Panel) 在封装加干燥剂 (Desiccant) 后总厚度不到 200 $\mu\text{m}$  (0.2mm)。OLED 不仅更轻薄、能耗低、亮度高、发光率好、可以显示纯黑色,并且还可以做成可弯曲的,甚至透明的显示屏,其应用范围更加广泛。

综上所述,图像显示设备是近年来发展迅速的技术领域,新的显示器件和设备不断问世,其性能不断得到改进,应用领域也不断扩展,是图像处理中十分活跃的研究热点。

## 1.5 数字图像处理的硬件设备

一般的数字图像处理系统如图 1-7 所示。

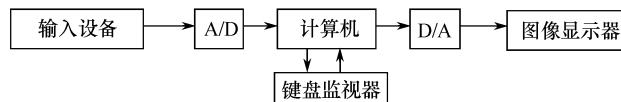


图 1-7 数字图像处理系统

早期的数字图像处理系统为提高处理速度,增加容量,都采用大型机。大型机的造价高,浪费大。后来较普遍的是发展小型机为主的系统。有代表性的是美国的 I<sup>2</sup>S 系统,加拿大的 Depex 系统。这种系统的主机均以 VAX/750,VAX/785 为主。现在的图像处理系统向两个方向发展,一个方向是微型图像处理系统,其主机为 PC,配以图像卡及显示设备就构成了最基本的微型图像处理系统。目前,国产的有 CA540、Vp32、FGCT11010N8、CA-CPE-1000、CA-CPE-2000 等图像板卡研制成功并已商品化。多媒体系统中常用的 Video Blaster 也是一种较普遍的图像卡。此外,大多数工作站也都有图像处理功能,也可以看作是微型的图像处理系统。

微型系统成本低、设备紧凑、应用灵活、便于推广。特别是微型计算机的性能逐年提高,使得微型图像处理系统的性能也不断升级,加之软件配置丰富,使其更具有实用意义。

## 1.6 数字图像处理的应用

数字图像处理的应用越来越广。它的应用已渗透到了工程、工业、医疗保健、航空航天、军事、科研、安全保卫等各个方面,在国计民生及国民经济中发挥越来越大的作用。

具体应用领域可粗略概括在表 1-1 中。

其典型的应用领域如下。

(1) 遥感 (Remote Sensing)。

在遥感的发展和大事记中,我们可以看到大量的与图像处理密切相关的技术。从世界上出现第一幅照片 (1839 年),意大利人乘飞机拍摄了第一张照片 (1909 年),前苏联 (1957 年) 及美国 (1958 年) 发射第一颗人造地球卫星等,都为遥感技术的发展奠定了坚实的基础。1962 年国际上正式使用遥感 (Remote Sensing) 一词。此后,美国相继发射多颗陆地资源探测卫星,如

表 1-1 图像处理的应用领域

| 学科    | 应用内容                       |
|-------|----------------------------|
| 物理、化学 | 结晶分析、谱分析                   |
| 生物、医学 | 细胞分析、染色体分类、血球分类、X 光照片分析、CT |
| 环境保护  | 水质及大气污染调查                  |
| 地质    | 资源勘探、地图绘制、GIS              |
| 农林    | 植被分布调查、农作物估产               |
| 海洋    | 鱼群探查、海洋污染监测                |
| 水利    | 河流分布、水利及水害调查               |
| 气象    | 云图分析等                      |
| 通信    | 传真、电视、多媒体通信                |
| 工业、交通 | 工业探伤、铁路选线、机器人、产品质量监测       |
| 经济    | 电子商务、身份认证、防伪               |
| 军事    | 军事侦察、导弹制导、电子沙盘、军事训练等       |
| 法律    | 指纹识别等                      |

1972 年: LANDSAT- I ——四个波段, 地面分辨率  $59m \times 79m$ ; 1975 年: LANDSAT- II ; 1978 年: LANDSAT- III , 分辨率  $40m \times 40m$ 。1982 年: LANDSAT- IV , 分辨率  $30m \times 30m$ , 在这颗卫星上配置了 GPS 系统 (Global Positioning System), 定位精度在地心坐标系中为  $\pm 10m$ 。

自 1972 年 7 月 23 日以来, 已发射 8 颗卫星。LANDSAT- VII 于 1999 年 4 月 15 日发射升空。LANDSAT- VIII 于 2013 年 2 月 11 日发射升空, 经过 100 天测试运行后开始获取影像。LANDSAT- VIII 卫星包含陆地成像仪 (OLI, Operational Land Imager) 和热红外传感器 (TIRS, Thermal Infrared Sensor)。OLI 陆地成像仪包括 9 个波段, 空间分辨率为 30 米, 其中包括一个分辨率为 15 米的全色波段, 成像幅宽为  $185km \times 185km$ 。

遥感图像处理的用处越来越大, 效率及分辨率也越来越高。如土地测绘、资源调查、气象监测、环境污染监测、农作物估产、军事侦察等。当前, 在遥感图像处理中主要解决数据量大和处理速度慢的矛盾。图 1-8 是一幅用于气象监测的飓风的遥感图像。

### (2) 医学。

图像处理在医学界的应用非常广泛, 无论是在临床诊断还是病理研究都大量采用图像处理技术。它的直观、无创伤、安全方便的优点受到普遍的欢迎与接受。其主要应用可举出众多的例子, 如 X 光照片的分析、血球计数与染色体分类等。目前广泛应用于临床诊断和治疗的各种成像技术, 如超声波诊断等都用到图像处理技术。有人认为计算机图像处理在医学上应用最成功的例子就是 X 光 CT (X-ray Computed Tomography)。在 1968—1972 年英国 EMI 公司的 G. N. Hounsfield 研制了头部 CT, 1975 年又研制了全身 CT。20 世纪 70 年代美、日、法、荷兰相继生产 CT。其中主要研制者 G. N. Hounsfield (英) 和 A. M. Cormack (美) 因此而获得了 1979 年的诺贝尔生理医学奖。这足以说明 CT 的发明与研究对人类贡献之大、影响之深。图 1-9 给出了 CT 机及其重建图像。与其类似的设备目前已有多种, 如核磁共振 CT (Nuclear Magnetic Resonance Imaging, NMRI), 还有电阻抗断层成像技术 (Electrical Impedance Tomography, EIT) 或阻抗成像 (Impedance Imaging), 这是一种利用人体组织的电特性 (阻抗、导纳、介电常数) 形成人体内部图像的技术。由于不同组织和器官具有不同的电特性, 这些电特性包含了解剖学信息, 更重要的是人体组织的电特性随器官功能的状态而变化, 因此, EIT 可望绘出反映与人体病理和生理状态相应功能的图像。目前, EIT 已发展了一些相应的算法 (图像重建算法), 在临床应用中也正在探索 (如神经中枢系统、呼吸系统、心血管系统、消化系统)。当前的主要问题是分辨能力差, 原因是入射电流进入人体组织后呈三维分布发散, 因此, 指向性不强, 并且电流在人体组织中的分布规律复杂, 未知因素多。虽然 EIT 分辨率不高, 但是生物阻抗技术提取的组织和器官的电特性信息对血液、气体、体液和不同的组织成分有独特的鉴别能力, 对血液的流动分布, 肺内的气血交换, 体液含量与流动等非常敏感, 以此为基础, 可进行心、脑、肺及相关循环系统的功能评价及血液动力学与流变学的研究。该技术对肺癌的早期发现显示出很大的优越性, 这一点是现有的其他成像技术无法比拟的。

### (3) 图像处理技术在通信中的应用。

如果按业务性能划分图像通信可分为电视广播 (点对面通信)、传真、可视电话 (点对点通信)、会议电视 (点对多点)、图文电视、可视图文及电缆电视等。如按图像变化性质分, 图像通信可分为静止图像通信和活动图像通信。

从历史上看, 早在 1865 年在法国就试验成功传真通信 (巴黎至里昂), 但后来由于技术及经济原因发展一直非常缓慢。20 世纪 70 年代后, 图像通信逐渐成为人们生活中常用的通信方式, 随着大规模集成电路的发展, 使得图像通信中所需的关键技术逐步得到解决, 推动了图像通信的发展。1980



图 1-8 飓风的遥感图像

年,CCITT 为三类传真机和公共电话交换网上工作的数字传真建立了国际标准,1984 年,CCITT 提出了 ISDN 的建议,以及当今基于 IP 的多媒体通信都意味着非话业务通信方式已在通信中占有重要位置。图像通信主要有如下一些内容。



图 1-9 CT 机及其重建图像

① 电视广播:单色电视广播 1925 年在英国实现。1936 年 BBC 开始电视广播。目前出现的彩色电视有三种制式,即 NTSC(美国、日本等)、PAL(中国、西欧、非洲等)和 SECAM(法国、俄罗斯等)。

② 可视电话和会议电视:1964 年美国国际博览会展出了 Picture-phone MOD-I 可视电话系统,带宽为 1MHz。目前的可视电话/会议电视均采用数字压缩技术,也出现了相应的国际标准。如图像编码标准 H. 261、H. 263 等,会议电视的 H. 320 传输协议标准,它在专用通信网中用 PCM 一次群传输,速率为 2048Kbit/s。桌面型系统遵循 H. 323 传输协议标准。目前,由于网络的飞速发展,视频会议系统已非常成熟,华为视频会议系统、宝利通视频会议系统、思科视频会议系统、中兴视频会议系统、科达视频会议系统、MAXHUB 视频会议系统等,腾讯会议系统、Webex 系统等也十分普及。

③ 传真:是把文字、图表、照片等静止图像通过光电扫描的方式变成电信号加以传送的设备。1980 年 CCITT 为三类传真机和公共电话交换网上工作的数字传真建立了国际标准,即一类机——不压缩,4 线/毫米,A4 文件传送用时 6 分钟;二类机——采用频带压缩技术(残留边带传输)4 线/毫米,传送 A4 文件需 3 分钟;三类机——在传送前采用去冗余技术,在电话线上传 A4 文件用时 1 分钟;四类机——在三类机的基础上发展的、采用去冗余技术的传真设备,采用去冗余、纠错码技术在公用数据网上使用的设备,加 MODEM 也可以在公用电话网上使用。经过多年发展,传真技术不断进步,现在已有仅数秒钟就可传送一幅 A4 文件的传真机,分辨率高达 16 点/毫米。

④ 图文电视和可视图文:图文电视(Teletext)和可视图文(Videotext)是提供可视图形文字信息的通信方式。图文电视是单向传送信息,它是在电视信号消隐期发送图文信息,用户可用电视机和专用终端收看该信息;可视图文是双向工作方式,用户可用电话向信息中心提出服务内容或从数据库中选择信息。随着互联网的迅速发展,这些图像传输方式如今已被淘汰了。

⑤ 电缆电视(CATV):是通过电缆或光缆传送的电视节目。第一个电缆电视系统于 1949 年安装在美国,采用光缆实现的 CATV 是 1977 年后的事情。图像通信随着计算机网络及移动通信的飞速发展已日渐成熟,并且是通信中的主要研究目标。目前基于计算机网络和 4G、5G 的图像通信主要追求低延时、高带宽的技术指标,流畅地传输高清和超高清视频始终是研制者追求的目标之一。

#### (4) 工业生产的质量控制。

在生产线中对生产的产品及部件进行无损检测也是图像处理技术的一个广泛应用领域。如食品包装出厂前的质量检查,浮法玻璃生产线上对玻璃质量的监控和筛选,甚至在工件尺寸测量方面也可以采用图像处理的方法加以自动实现。另外在铁路设备检测中的铁谱分析也是一个典型的应用。在高速铁路的快速发展中,迫切需要对高铁运营装备的实时检测和评估,为保证铁路装备的安全运营,使设备从定期修转为状态修是铁路部门一直视为降低成本、提高效率的必由之路,其中,实

现检测智能化的关键技术就依赖图像处理和计算机视觉技术。这方面已有多种成熟的技术被采纳，并发挥了重要作用。

(5) 安全保障、公安等方面的应用。

在该领域中主要把图像处理中的模式识别等技术应用于智能监控、指纹档案、案件侦破等工作中。随着数据感知、互联网和智能信息处理技术的发展，人类社会的信息化程度进入了一个新阶段。物联网、互联网和通信网在为人们构建一个网络化、数字化的生活和工作环境的同时，也为实时感知和深入理解人类的社会活动提供了一个理想的观测平台和丰富的数据来源，而公共安全和社会稳定也面临重大挑战。利用图像处理技术为防范和处理突发公共事件提供技术支撑和决策支持是国家公共安全和社会治安防控体系的重要组成部分。

(6) 教学及科研领域中也将大量应用图像处理技术，如科学可视化技术、远程培训及教学等。

(7) 当前呼声甚高的电子商务中，图像处理技术也大有可为。如身份认证、产品防伪、水印技术等。

总之，图像处理技术应用领域相当多，它在国家安全、经济发展、日常生活中充当越来越重要的角色，它在国计民生中的作用不可低估。

## 1.7 数字图像处理领域的发展动向

自 20 世纪 60 年代第三代数字计算机问世以后，数字图像处理技术出现了空前的发展，其形势可谓是方兴未艾。

在该领域中需进一步研究的问题，不外乎如下 5 个方面。

(1) 在进一步提高精度的同时着重解决处理速度问题。如在航天遥感、气象云图处理方面，巨大的数据量和处理速度仍然是主要矛盾之一。

(2) 加强软件研究、开发新的处理方法，特别要注意移植和借鉴其他学科的技术和研究成果，研究新的处理方法。

(3) 加强边缘学科的研究工作，促进图像处理技术的发展。如人的视觉特性、心理学特性等研究如果有所突破，将对图像处理技术的发展有极大的促进作用。

(4) 加强理论研究，逐步形成图像处理科学自身的理论体系。

(5) 时刻注意图像领域的标准化问题。图像的信息量大、数据量大，故而图像信息的建库、检索和交流是一个极严重的问题。就现有的情况看，软件、硬件种类繁多，交流和使用极为不便，这些严重阻碍了资源的共享。应及早建立图像信息库，统一存放格式，建立标准子程序，统一检查方法等仍然是当前图像处理领域面临的任务。

图像处理技术未来发展大致归纳如下 4 点。

(1) 高速、高分辨率和立体化

图像处理的发展将向着高速、高分辨率、立体化、多媒体化、智能化和标准化方向发展。围绕着 HDTV(高清晰度电视)的研制将开展实时图像处理的理论及技术研究。其中包括：

① 提高硬件速度：不仅要提高计算机的速度，而且 A/D、D/A 的速度也要实时化。提高计算机速度的途径有三：其一，对于复杂指令计算机(CISC)的处理速度在逐年提高，如 Intel 公司的芯片，486 有 100 多万个元件，速度不到 10MIPS(Million Instruction Per Second)，到 2000 年生产的 Micro-2000 每片可集成 1 亿个元件，速度达 200MIPS；其二，对于精简指令计算机(RISC)将给予极大的重视，20 世纪 90 年代为 10MIPS，1995 年达到 800MIPS，利用 ECL 电路速度还会增加。有人预言不久的将来速度会超过 2000MIPS；其三是提高图像处理速度的途径是研究并行处理器，利用多 CPU 并联，使软、硬件一体化。在日本有人估计将有  $10^8 \sim 10^{12}$  个处理器并行，大体与人脑的神经元数量相当，速

度可达到 GFlops(1G=1000M)甚至 TFlops(1T=1000G)。

② 提高分辨率:主要提高采集分辨率和显示分辨率。20世纪90年代达到 $2048\times2048$ 。提高分辨率的主要困难在于显示器件的制造和图像、图形刷新存取速度。20世纪80年代法国的SPOT卫星分辨率为 $10m\times10m$ ,由此可见,分辨率的提高速度是十分惊人的。

③ 立体化:图像是二维信息。随着技术的发展,三维图像处理将会更受重视,因为它的信息量更大,特别是随着计算机图形学及虚拟现实技术的发展,立体图像处理技术将会得到广泛应用。

④ 多媒体化:20世纪90年代出现的多媒体技术在计算机界掀起了一股热潮,现在这一词汇可以说到处可见,实际上多媒体的关键技术之一就体现在图像数据压缩上。

目前有关图像压缩的国际标准已有多个,而且还在继续发展。例如,

- **JPEG (Joint Photography Expert Group) 标准:**1991年3月提出的ISO CD 10918号建议。
- **H. 261 建议:**用于可视电话/会议电视的压缩标准。1998年提出 $p\times64\text{Kbit/s}$ , $p$ 值可取1~30,采用混合编码法,即采用DCT变换、运动补偿DPCM、Huffman编码技术。1984年制定了会议电视的H. 120建议。目前的传输标准主要是H. 320和H. 323标准。
- **MPEG1 标准:**1992年通过的ISO CD 11172号建议,它包括三部分,即MPEG视频、MPEG音频、MPEG系统,速率为 $1.5\text{Mbit/s}$ 。目前的MPEG4是为实现多媒体通信的国际标准,主要把MPEG的典型特点与现有的或将来预期会出现的特征结合起来的新的编码标准。
- **H. 264 标准:**它是一种高性能的视频编解码技术。是由“国际电联(ITU-T)”和“国际标准化组织(ISO)”两个组织联合组建的联合视频组(JVT)共同制定的新数字视频编码标准,所以它既是ITU-T的H. 264,又是ISO/IEC的MPEG-4高级视频编码(Advanced Video Coding, AVC),而且它将成为MPEG-4标准的第10部分。因此,不论是MPEG-4、AVC、MPEG-4 Part 10,还是ISO/IEC 14496-10,都是指H. 264。

H. 264最大的优势是具有很高的数据压缩比率,在同等图像质量的条件下,H. 264的压缩比是MPEG-2的2倍以上,是MPEG-4的1.5~2倍。例如,原始文件的大小如果为88GB,采用MPEG-2压缩标准压缩后变成3.5GB,压缩比为25:1,而采用H. 264压缩标准压缩后变为879MB,从88GB到879MB,H. 264的压缩比达到惊人的102:1。与MPEG-2和MPEG-4 ASP等压缩技术相比,H. 264压缩技术将大大节省传输频带的宽度和提高传输速率。尤其值得一提的是,H. 264在具有高压缩比的同时还拥有高质量、流畅的图像传输。

总之多媒体技术的进一步发展是使计算机朝着人类接收和处理信息的最自然的方式发展。

⑤ 智能化:力争使计算机的识别和理解能按人的认识和思维方式工作;考虑主观概率,非逻辑思维,正如微软提出的要研制能听会说的计算机那样实现多功能的人—机交互。

⑥ 标准化:图像处理技术整体看尚没有统一的标准,今后应给予极大的关注。

#### (2) 三维成像和多维成像

图像、图形相结合朝着三维成像或多维成像的方向发展。

#### (3) 硬件芯片研究

目前,结合多媒体技术的研究,硬件芯片越来越多。如ThomSon公司ST13220采用Systolic结构,做运动预测器。INMOS公司的IMS-A121,采用流水线结构,C-Cube公司CL-550把JPEG做到一个芯片上,更便于推广应用等。总之把图像处理的众多功能固化在芯片上将会有更加广阔的应用领域。

#### (4) 新理论与算法研究

在图像处理领域近年来引入了一些新的理论并提出了一些新的算法,如Wavelet、Fractal、Morphology、遗传算法、神经网络、偏微分方程方法等。其中Fractal广泛用于图像处理、图形处理、纹理分析,同时还可以用于数学、物理、生物、神经和音乐等方面,有人认为Fractal可以把杂乱无章、随意性很强的事物用数学方法加以规范和描述,它在分析和描绘自然现象上具有独到之处。这些理论在未

来图像处理理论与技术上的作用应给予充分的注意,并积极地加以研究。

图像处理特别是数字图像处理科学经初创期、发展期、普及期及广泛应用几个阶段,如今已是各个学科竞相研究并在各个领域广泛应用的一门科学。今天,随着科技事业的进步及人类需求的多样化发展,多学科的交叉、融合已是现代科学发展的突出特色和必然途径,而图像处理科学又是一门与国计民生紧密相连的应用科学,它的发展与应用与我国的现代化建设联系之密切、影响之深远是不可估量的。图像处理科学无论是在理论上还是实践上都存在着巨大的潜力。

## 思考题

1. 图像处理技术应用可追溯至伦琴教授 X 光的发现,从伦琴教授对 X 光的发现过程,我们可学到伟大的科学家身上的哪些优秀品质? 他给了我们哪些启示?
2. 为什么说目前图像处理技术中的算法与通信理论密切相关?
3. 图像处理的主要方法分几大类?
4. 图像处理工程包括哪几项内容? 试述其内涵。
5. 图像信息获取设备有哪几种? 其优缺点是什么?
6. 由于科研工作的需要,实验室需要购置图像获取常用设备(如摄像机),您重点考虑的技术指标是什么? 如何在技术要求和设备价格中做出合理的平衡?
7. 数字图像处理的主要内容是什么? 试说明它们的基本用途。
8. 图像编码主要解决什么问题? 现代图像编码的特点是什么?
9. 什么是软拷贝? 什么是硬拷贝? 它们主要使用什么设备?
10. 图像显示的主要方法有几种? 其特点是什么?
11. 在检测装备研制中,怎样选择您需要的图像显示设备?
12. 选择显示器时,重点考虑哪些技术指标?
13. 目前的冯·诺伊曼计算机体系结构为什么难以提高图像处理的效率?
14. 数字图像处理有哪些应用? 试举出几种您见过的应用。
15. 数字图像处理的发展方向是什么?