

计算机图象处理

(上册)

容 观 澳

清 华 大 学

1989.8.

1990.9.

近二十多年来得到迅速发展的一项重要技术。它在医疗诊断、生活气象、海洋、林业、农业、水利、地理、军事等诸领域)、工业、材料检测、模式识别、人工智能以及天文学、考古学、建筑学、生物学、化学、核物理学等方面得到了广泛的应用。现在,计算机图象处理不仅成为各学科都要学习和研究的技术,而且在各领域中应用所取得的成果又反过来奠定了图象处理的理论发展的坚实基础。

由于计算机图象处理技术在各学科的广泛应用,需要一本为高年级学生和研究生教材。作者根据1978年为研究生课翻译的数字图象处理教材为基础,并补充了1979年迄今历年给高年级学生和研究生授课中使用的大量参考教材以及图象处理的科研项目 and 成果编写而成。

本书力图加强计算机图象处理的基础知识和基础理论并配合大量典型应用和典型方法以及算法原理。计算机图象处理的实践环节和实验技术是十分重要的。为了读者能迅速建立或构成计算机图象处理系统以期加强实践环节,还增编了图象处理系统设计一章。本书重点章节书后附有习题配合。

本教材由于印刷条件,所有实践的照片只能删掉。由于本教材所用字体规格大小变化少、字形种类不多,所以公式表达显得冗长和疏散,但教师授课时不会失去其正确性。这些问题一旦铅印即可解决。

作者在大量科研、教学任务情况下,赶写出为下一年学生使用的教材。由于时间仓促,敬请读者尽量指出错误和不妥之处以便修改。作者将不胜感激。

容观澳 于清华大学

一九八九年六月

计 算 机 图 象 处 理

目 录

第一章 绪论	1-1
§ 1-1 为什么要图象处理	1-1
§ 1-2 数字图象处理简介	1-2
§ 1-3 数字图象处理的应用	1-7
§ 1-4 “计算机图象处理”的内容	1-8
§ 1-5 图象处理系统基本构成	1-9
第二章 数字图象	2-1
§ 2-1 图象的形成和人视觉	2-1
§ 2-2 彩色视觉	2-12
§ 2-3 色度和色度图	2-15
§ 2-4 色度学和彩色图象	2-27
§ 2-5 连续图象	2-36
§ 2-6 数字图象	2-58
第三章 图象处理中的正交变换	3-1
§ 3-1 付里叶变换	3-1
§ 3-2 离散余弦变换	3-24
§ 3-3 沃尔什变换	3-20
§ 3-4 哈尔变换	3-70
§ 3-5 斜变换	3-75
§ 3-6 霍特林变换	3-81
§ 3-7 正交变换中的几个问题	3-87
第四章 图象增强	4-1
§ 4-1 SCALE变换	4-1
§ 4-2 直方图均衡化和规定化	4-4
§ 4-3 传感器匹配增强	4-14
§ 4-4 图象平滑和噪声去除	4-16
§ 4-5 图象锐化和轮廓抽取	4-20
§ 4-6 利用同态系统进行增强处理	4-27
§ 4-7 伪彩色增强处理	4-28

第五章 从投影重建图象	5-1
§ 5-1 医学中从投影重建图象	5-1
§ 5-2 付里叶变换重建	5-10
§ 5-3 投影——切片定理	5-14
§ 5-4 极坐标有限切片重建	5-16
§ 5-5 卷积法重建	5-18
§ 5-6 代数法最优重建	5-23
§ 5-7 重建算法举例	5-28
第六章 图象复原	6-1
§ 6-1 退化模型	6-1
§ 6-2 复原的代数方法	6-14
§ 6-3 中值滤波	6-30
§ 6-4 几种其它复原方法	6-46
第七章 图象的编码和数据压缩	7-1
§ 7-1 保真度准则	7-1
§ 7-2 PCM编码	7-4
§ 7-3 统计编码	7-12
§ 7-4 游程编码	7-31
§ 7-5 预测编码	7-34
§ 7-6 变换编码	7-50
第八章 图象的分割与描绘	8-1
§ 8-1 图象分割	8-1
§ 8-2 图象描绘	8-15
§ 8-3 投影图关系描绘	8-33
§ 8-4 文法概念关系描述	8-40
§ 8-5 其它描绘	8-52
第九章 图象匹配	9-1
§ 9-1 图象的特征	9-1
§ 9-2 图象的检测与配准	9-13
§ 9-3 三维物体的成象	9-31
§ 9-4 地图匹配问题	9-47
§ 9-5 地图匹配的一些实际问题	9-110

第十章 图象系统设计	10-1
§ 10-1 图象处理系统的指标	10-1
§ 10-2 图象存储器设计	10-2
§ 10-3 查表、映射和可编程阵列逻辑	10-7
§ 10-4 图象系统	10-23

习题

§ 1-1 为什么要图象处理

当前是信息时代,信息的获得、加工、处理、应用等都有了飞跃的进展。景物和图象不但和人类关系密切而且是一种极丰富和重要的信息来源。人类了解客观世界是通过各种感觉器官来体现,如味觉、嗅觉、触觉、视觉一等。其中视觉的信息量最大、最直观、最快速而且感知的距离最远。从信息量大小来看,中国古语有“百闻不如一见”正是这种情况的形象比喻。因为图象信息对人类如此重要,所以很早就提出图象处理的要求。在古代就提出看不清楚的东西,能够看清楚的需求因而发展了放大镜、望远镜把微小的东西和距离很遥远的星座进行观察,之后发明了显微镜使人类认识客观世界进入一个新领域,在生物医学方面首先发现了细菌和细胞对人类作出重大贡献。各种天文望远镜使人类对宇宙的探索有了良好工具。

随着社会发展对图象处理要求不断提高,目前已对以下各项作出显著成果。

一、从可见光谱扩展到各频段,如红外热象处理、雷达波段的侧视雷达遥感图象处理、遥感图象多光谱图象处理等。

二、从静止到运动图象处理,如运动模糊图象的恢复、巡航导弹地形识别、地面对宇航目标的跟踪及反应等。

三、从物体的外部到内部,对人类无损检测如从投影重建图象,对密封器件无损显示内部图象等以及医学XCT, NMR等。

四、从整体到局部的图象处理,无论从灰度或空间皆可开窗口进行各种加工处理如放大、变换、校正等。

五、从空域到变换域的各种处理,利用变换域的特性对图象进行处理,如去相关、方差集中等特性的处理。

六、从整体图象到特征图象的提取,从各种物体中抽出关键的特征,如外形轮廓、纹理(Texture)特征等。

七、从人工认识景物到用机器认识景物,如光学识别字符、计算机识别物体等。以上各项是人类在更大程度上、更大范围认识客观世界中不断提出的要求。当今面临信息社会,将对图象处理提出更多要求。

图象处理基本上可分为两大类。

1. 模拟处理

模拟处理包括光学透镜处理、照相、广播电视等等。这类处理一般来说都是实时处理。透镜装置处理速度快,能同时并行处理,在理论上讲处理速度是光速。广播电视是以模拟信号的形式进行处理的,其内容均是真实的活动图象。一般说来,模拟处理的优点是处理速度快,其缺点是精度较低,灵活性差,很难有判断功能和非线性处理功能。

2. 数字处理

数字处理的处理过程一般大都是用计算机处理。只有一部分需要实时处理的才采用专用硬件处理,所以有时也叫计算机处理。数字处理具有精度高,处理内容丰富,

可进行复杂的非线性处理等优点。它有非常灵活的变通能力。一般说来只要改变软件（程序）就可以改变处理内容，因此十分灵活方便。其主要缺点是处理速度较慢，通常多用来处理静止图象。但是随着技术的发展，将会有大量的高速、超高速硬件问世，因此计算机的运算速度将会不断提高，由此看来数字处理速度较慢的缺点也不是不可克服的。值得注意的一点是数字图象很难被人直接理解，所以为了实行人—机对话（即人与计算机信息交换），通常数字图象处理系统经常要用到模拟技术。也就是说在计算机入口与出口要采用模拟处理技术。

值得指出的是数字图象处理当前主要是以点处理为基础的，即把并行出现的图象用串行方式处理，而图象数字化时多数用 512×512 点阵，即约 262144 点，也就是说一幅图象是需处理这么多次，而每次处理可能包括加、减、乘、除、函数等运算。因此从体制讲，数字图象处理是把并行体制变为串行体制，从原则上说一定是慢的。但是近年来计算机计算速度是几十倍几百倍地增长，而存储体又是体积和价格迅猛下降，因而掩盖了这种体制上的基本弱点，而且计算机的软件、硬件技术发展很快，可以使图象处理系统的硬件化、小型化、并行化，大大改善了数字图象处理的优越性。

下面我们重点讲数字图象处理。

§ 1-2 数字图象处理简介

一、数字图象处理包括以下几部分

1 图象源：包括自然景物，照片、底片以及多光谱扫描仪得到的照片、数字磁带等。

2 数字化：图象源先经光电变换器变成电信号，然后再进行数字化变换，把连续变化的电信号转换为便于计算机处理的数字化信号是由抽样、分层量化、编码等几个过程组成。

(1)抽样 抽样是在连续变化的信号上每间隔一定距离抽取一个样本而得到的高散值。抽样间隔是根据图象处理任务中要求重新建立图象所需的分辨率来确定的。能够和广播黑白电视的质量相比拟的图象，需要水平方向抽样 512 个象点，垂直方向也要 512 条线，换句话说用 512×512 象点组成点阵图象。在某些用途中用 256×256 点阵就足够，而有些任务要求用 1024×1024 点阵以上。

(2)分层量化 图象的每一个象点其亮度是按图象内容随机地变化的、把从最黑到最亮之间按其差别可分为许多层，一般的图象处理多分为 256 层，称为 256 级灰度，所分的层数与任务的要求有关，一旦所分的层数确定，则位于两层之间的亮度就用舍入的方法归入上一层或其下一层，以分为 16 层亮度的图象为例，设其亮度连续变化如图1-2-1所示。图中的亮度以纵坐标电压 V 表示，横坐标为空间抽样距离 x ，当图象在抽样点上的值为 0.11 、 0.92 、 1.52 、 1.08 、 0.56 、 0.28 时，因为表示亮度的电压规定只分 16 层，因此只能用舍入的方法归入到相应的 16 层上去，即归入 0.1 、 0.9 、 1.5 、 1.1 、 0.6 和 0.3 上去，这样产生的误差称为量化误差，显然，分层越多则量化误差越小。

(3)编码 每个抽样点上的亮度在计算机中用二进制码表之,仍以图 1-2-1 中的十六级灰度图象为例,用二进制数表示 16 级灰度以及用脉冲表示编码的波形示于图 1-2-2 中。图 1-2-2 中用顺序的脉冲波形表示图象的亮度,其中有脉冲表示“1”,无脉冲表示“0”。

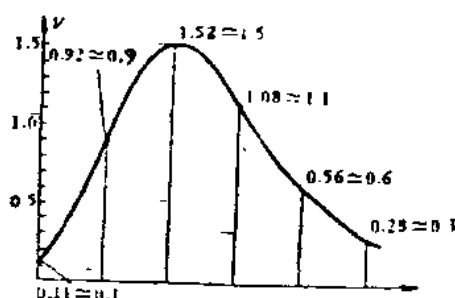


图 1-2-1 亮度分为 16 层的连续变化图象

数字	二进制数	数字的脉冲
0	0000	
1	0001	
2	0010	
3	0011	
4	0100	
5	0101	
6	0110	
7	0111	
8	1000	
9	1001	
10	1010	
11	1011	
12	1100	
13	1101	
14	1110	
15	1111	

图 1-2-2 PCM 编码

3 计算机加工处理变换

把亮度变成了二进制电脉冲之后就可以进行了。处理的方法一般分为两大类,即空域处理和变换域处理(通常叫做频域处理)。

(1)空域处理,它是把图象空间上的每一个象点逐个进行处理变换。例如对图象进行灰度变换,就把每一个象点都按照某种准则(某种函数)进行变换,得到所需要的清晰图象。准则或函数则随不同的用途而异。

(2)频域处理,通常是用付里叶变换把图象从空域变到频域之中,在频域中以某种准则改变其频谱分量,也就是常用的滤波处理,最后再变回到空域中成为所需要的清晰图象。频域处理中常用滤波技术,这是因为常用的正交变换是付里叶变换,变到频域后就可以用滤波的方法选取频域中不同部分,如高通、低通带通、带阻、滤波。变换后经过滤波便于分类,或反变换后到空域成所需要的图象。

4 重建图象 处理后的图象是把象点逐点进行大量计算后再存入存储器中重新建立起图象。重建图象有许多方法随问题不同而异。供人观看时,常用电视屏幕来显示重建的图象。

图象处理的目的是使图象更清晰,使人或机器更易于理解。因此,为了不同目的就要采用不同的处理方法,有时还要采用几种处理方法的综合。

图象处理的内容极为广泛,如放大、缩小、平移,坐标变换,坐标轴旋转,透视图制作、位置重合,几何校正, r 校正,灰度反转,二值图象,灰度变换,伪彩色增强、平滑,边缘加强和轮廓线抽取,等灰度线制作,图象复原,图象重建,局部图象选出或去除,轮廓周长计算,面积计算以及各种正交变换等,真是内容繁多举不胜举。为了更好地说明图象处理方法的本质及采用的基本手段,我们仅选择几个典型处理过

程来说明两大类处理方法，即空域法和频域法的本质。

例1 空域处理——灰度级变换的图象增强

图象增强的目的是改进图象，使之适合于人的视觉理解或是突出某些图象特征以供机器自动识别。最常用的是空域增强和频域增强技术。灰度级变换是一种空域增强技术。把原始不清楚的图象 R 在空间每一象点灰度都经过某种变换函数转变成另一种灰度的象点，然后重新组合成一幅新灰度的图象 S 。变换函数 $S = T(r)$ 是根据不同的问题而选定的。其中 r 为原始已退化了的图象 R 中各象点的灰度， s 是增强后图象 S 中各象点的灰度，并假定 r 和 s 都已经归一化，即 $0 \leq r \leq 1$ 和 $0 \leq s \leq 1$ ，一般用 0 表示最暗， 1 表示最亮。几种典型变换函数表示在图1-2-3中。选用图1-2-3(a)中的变换准则，则原来图象中灰度位于 r_1 到 r_2 之间的象点变换后为 S_1 到 S_2 灰度之间，相当于把灰度拉开了，因此称为局部灰度扩展。同理，图1-2-3(b)称为暗区灰度扩展，图1-2-3(c)称为亮区灰度扩展。为了说明灰度变换的概念可用图1-2-4中的二值灰度图形为例。图1-2-4(a)左边为原始未

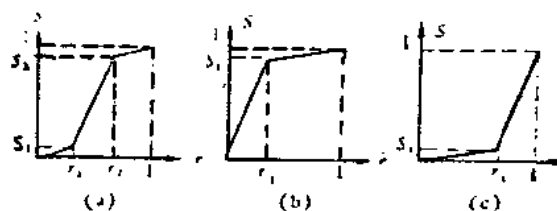


图1-2-3 三种 $S = T(r)$ 变换曲线

经劣化的图形，图1-2-4(a)右边为各象点灰度统计的直方图。假定长期放置，图象变黑变暗如图1-2-4(b)左边的样子，其各象点灰度分布直方图如图1-2-4(b)右图。显然直方图向暗区压缩，反差减小。要想增强这幅图象，可以选用图1-2-4(c)的变换函数，则经过变换后新的图象 S 如图1-2-4(d)的左图，其灰度分布直方图如图1-2-4(d)的右图。从这个例子可以看出增强的效果相当明显，实际上

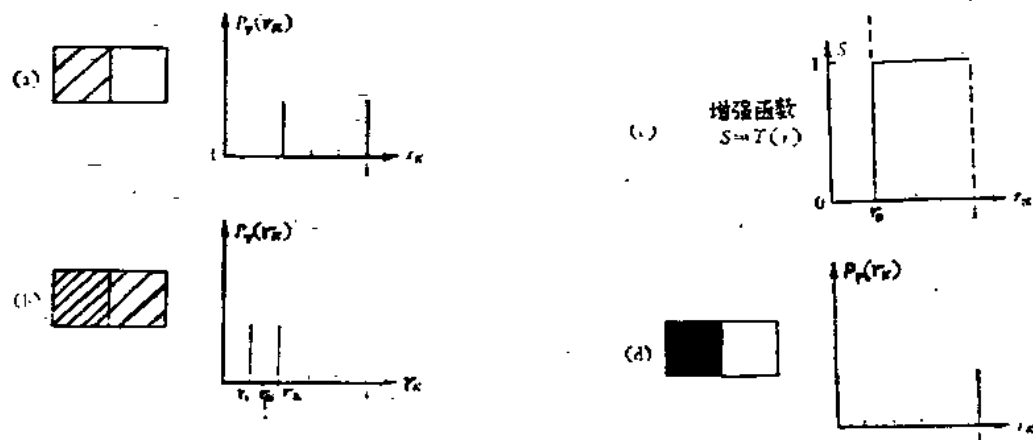


图1-2-4 二值暗淡图象的增强

的图象都比较复杂，灰度分布直方图千变万化，要根据不同图象选用不同的变换函数。例如一段变暗淡的图象都是直方图压缩在暗区，最好选用图 1-2-4 (b) 的暗区扩展的变换函数；如果直方图压缩在亮区就选用图 1-2-4 (c) 的亮区扩展变换函数，这样在一般情况都能得到良好效果。应当指出这类处理都是在空域中进行的，其步骤是首先把这幅图象所有象点的灰度级都统计出来，得到这幅图象的灰度分布直方图，然后，把每一个象点的灰度级 r 按照变换函数转换为 S 灰度级，然后依次存入计算机的存储器中。最后，由显示器按照电视制度以每秒钟从存储器中把所有象点依次取五十次供屏幕的刷新显示。一幅 256×256 的图象有 64 K 个象点，每个象点都要经过存数、取数，统计、作直方图，变换等操作，不用快速，大存储容量的计算机是难以达到的。

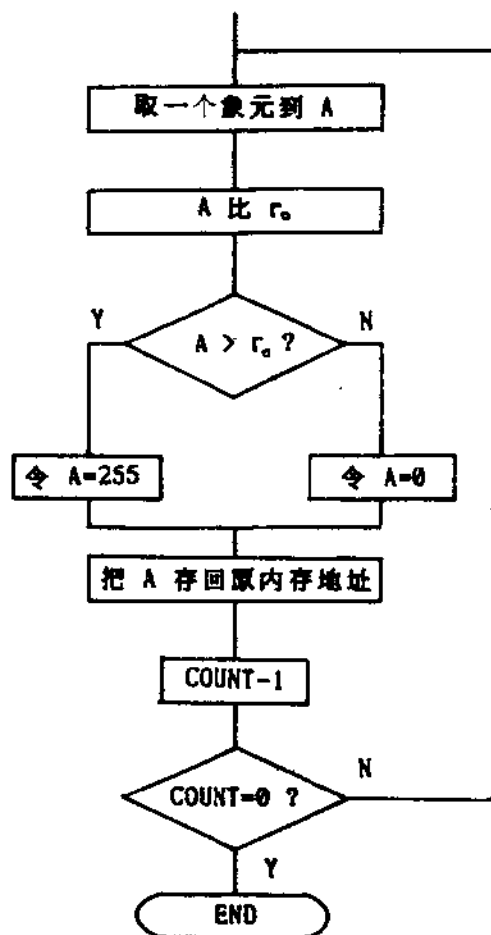


图1-2-5 图象增强流程图

以上举例用最简单的程序即可实现。设图象按象元次序存入以标号 TXMEM 的一段内存中，每个象元用八位码代其灰度层次。则其程序应逐象元进行处理。若图象大小为 512×512 则共需处理 262144 次，设从内存输入一个象元灰度值于 A 寄存器，总计处理次数存于 COUNT 寄存器中则可得一流程图如 1-2-5 中。流程图中 r_0

是从统计直方图来确定。统计直方图另外有子程序执行， $r_0 = (r_1 + r_2) / 2$ 。如原图象内存与重建图象都存于内存中的同一区域，则依次取出这一区域的内容经过一个图象显示设备就可以得到增强后的图象。

例2 频域处理——增强图象边缘和细节

一幅图象从频率的角度看，大的物体明暗变化反应在低频率，而细节和边缘变化反应在高频率。正常图象中高频、低频分量都有一定的比例，如果改变了这种比例就会使图象发生劣化。例如一幅正常图象通过一个低频通过型滤波器之后，则大的物体依然可见，但由于高频几乎都不能通过，因而细节和边缘都变成模糊。这样，这幅图象就劣化了。同理，一幅正常图象如果通过一个高频通过型滤波器，则会只剩下边缘和细节，这也是一种劣化现象。应用频域中这些概念去处理图象是很常用的一类方法。一幅劣化的图象，如果是边缘模糊、细节不清，则可以用在频域中加强其高频分量的方法解决。改变频率分量的一般表示式是在频域图象表示式上乘上一个变换系数 $H(u, v)$ ，用来改变其高频低频的比例。这相当于 $H(u, v)$ 对应空域中的 $h(x, y)$ 与劣化的图象函数 $f(x, y)$ 作卷积积分。但因为卷积积分计算较复杂，不如在频域中 $F(u, v)$ 和 $H(u, v)$ 直接相乘那样简单，因此在图象处理中常用频域法。

具体执行过程是先把图象 $f(x, y)$ 进行付里叶变换到频域为 $F(u, v)$ 。然后设法把 $H(u, v)$ 的各频率比例作处理，设高频成份增大，低频基本保持的频域函数 $H(u, v)$ ，用 $H(u, v)$ 与 $F(u, v)$ 相乘则使 $F(u, v)$ 畸变成为高频成份增大的 $G(u, v)$ ，这种畸变（劣化）恰好对人的视觉效果是边缘和细节清晰。因此，把 $G(u, v)$ 再经付里叶反变换至空域图象就是一幅边缘和细节较原图象更清晰的效果。频域中 $H(u, v)$ 的示意图如图 1-2-6。

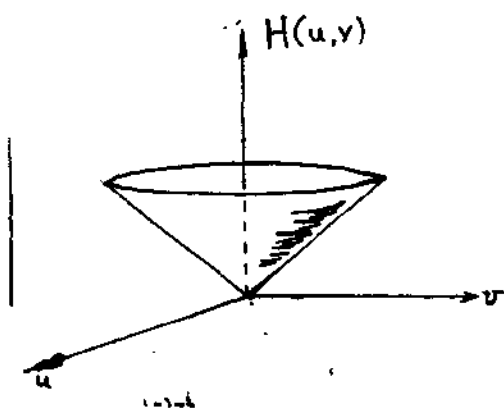


图 1-2-6 高频增强的 $H(u, v)$

若把离散付里叶变换及反变换以子程序形式来调用则流程图就很简单。如图 1-2-7 所示。图中有两段子程序即“离散正付里叶变换”和“离散反付里叶变换”。 $H(u, v)$ 形状如图 1-6 所示的简单倒圆锥形。处理后增强的图象为 $g(x, y)$ 。

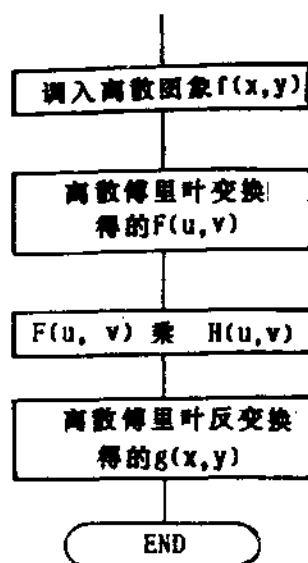


图 1-7 频域处理流程图

§ 1-3 数字图象的应用

数字图象当前已渗透到各个领域，下面把应用范围作一简介。

一、生物医学领域

- 1 一般 X 光透视图象增强
- 2 细胞分析及识别如癌细胞识别
- 3 白血球分类
- 4 红血球统计
- 5 X 光透视的远距电视观测及冻结
- 6 超声图象的冻结及增强和伪彩色处理。
- 7 热象分析及医疗诊断。

8 人体计算机层析术 Tomography 的计算机化，即 CT，包括 X 照象机，NMR，以及超声 CT 等。

2 染色体分析

- 10 手术方案的计算机图象确定
- 11 射线治疗最小损害方案的确定
- 12 骨科康复分析
- 13 微血管（如舌草头）中血流分析
- 14 其它，如带图象显示的专家看病系统。以及各种生物医学神经反应分析等。

二、遥感技术，包括卫星、航测等用于

- 1 农业：粮食估产病虫害预报。

- 2 林业：林区分类、森林防火
- 3 水利：水源调查、~~泛~~区统计分析、水库监测等。
- 4 海洋：海温测量、海洋预报、渔群分析
- 5 气象：气象预报
- 6 环境：水质、大气污染
- 7 地质及资源调查、地理测绘
- 8 交通：空中管理、铁路选线
- 9 军用

三、其它

- 1 科研：结晶分析、谱分析、光弹性图象分析、新粒子发现、远隔操纵、金相、热相以及各种图象分析。
- 2 工业：CAD、CAE、CAM、工业生产管理、无损检测
- 3 公安：指纹、面型分析、文件复原。
- 4 考古：衣服裁剪、体育分析、图象远距传送、地震测量……等。

§ 1-4 图象处理学内容

图象处理内容十分广泛，但大体可分为以下几个方面。

一、图象信息的获取 主要任务是把一幅图象转换为适合输入到数字计算机去的数字信号。这里主要包括图象的摄取、光电转换、采样、量化、~~AD~~变换、编码等步骤。若图象信号源已为数字化或模拟磁带则较简单。

二、信息的存储 图象获取后变为数字图象，信息量大是其主要特点，因此存贮常用磁带和磁盘。但为与计算机CPU配合则需要主机内存中有能存图象的庞大内容的空间。一般至少有能存一幅图象且速度快的内存，又称为图象存贮器，这样可以加快处理速度。由于磁盘存取速度较快可以作为计算机内存和外存之间媒介，而磁带则常作为永久存贮档案。较高级的图象处理系统常设有能存10幅以上的快速图象存贮体，从而大大提高了处理速度，而避免频频访问磁盘（软盘或硬盘）。对图象存贮体的设计及管理是图象处理中的主要问题之一。

三、计算机处理：包括专用计算的硬件和软件与计算机相配合的旨在加快计算速度的各种处理。

1 几何处理：几何校正、放大、缩小、上下滚动、左右滚动、拼图和分裂屏、漫游ROAM、图象重迭、动画…等。

2 数据校准和变换：幅射校正、图象配准、数据格式变换、空间几何变换及投影、数据校准。

3 图象增强：反差增强、灰度SCALE变换、直方图修改、图象平滑去噪声、图象锐化及边缘提取、细节加强、差值图象、比值图象、同态滤波、定向滤波、密度分割、伪彩色增强等。

4 正交变换：各种正交变换如付里叶变换、Walsh变换、Hadamard变换、SLANT变换、Haar变换、K-L变换等。

5. 图象复原：被模糊（劣化）图象的恢复原状，如逆滤波复原、维纳滤波复原、均匀运动图象复原等一系列线性代数复原方法及其应用。

6. 图象编码和数据压缩：图象传送及数据库由于数据量太大，图象数据的编码、压缩、传送（系统内及远距）以及存贮、检索、提取、建立图象数据库等。

7. 从投影数据重建图象是一项新技术，它是现代医学、宇航工业重要的手段。

8. 图象数据的统计：一维、二维以及多维直方图、长度、面积、质点粒子、坐标、方位、色度、色调等。

9. 图象的分析：包括图象分割、区域描绘、纹理描绘、关系描绘等。

四、图象的重建

图象的输出最终目的是为人和计算机提供一幅便于理解和识别的图象。

1. 显示输出：用CRT或点阵式器件输出图象速度快、精度高、几何畸变小，一般不易保存，叫软拷贝输出。

2. 硬拷贝输出：提高精度硬拷贝，以便存档检索。

3. 从投影数据重建图象。

五、图象的理解

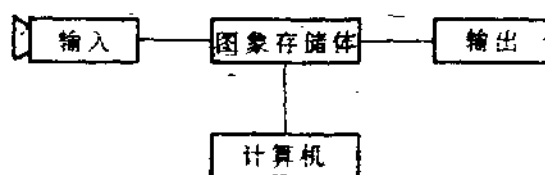
1. 图象特征抽取：形状特征、速度特征、纹理特征等。

2. 图象的符号描述及分类。

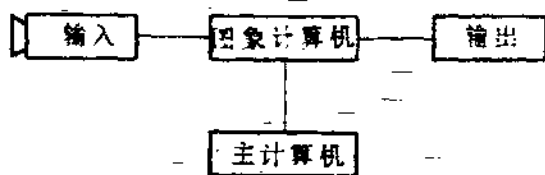
3. 对图象的解释和计算机视觉。

§ 1-5 图象处理系统基本组成

图象处理系统是十分复杂的，但主要的硬件环境如图1-5-1，图（a）是最基本的系统，图（b）是改进系统。基本系统是以计算机为主体，因此运算速度取决于计算机，即以计算机算法的优劣决定于图象处理系统的优劣的系统，一般处理速度慢，计算机不断工作。图（b）是改进系统，图中的图象计算机是用硬件组成快速处



(a)



(b)

图1-5-1 图象处理系统框图

理专用系统, 这样主机只是在予置参数, 指定处理类型或特殊计算时才与图象计算机相联, 而图象计算可脱机进行快速处理, 一般处理速度比用主机处理快, 可达到每个象元处理时间在 100 ns 以下, 远远超过用大型机的处理速度, 因而得到广泛的应用。

下面我们先看图 1-5-1(a) 框图为例说明几个主要部分的要求和实现方法:

一、图象处理系统的输入部分

输入部分是数字图象原始数据的来源, 因此它的质量精度和获取数据的速度都直接影响图象处理的好坏和实时性 (real-time)。随着不同的应用领域可采用不同形式的输入设备。输入设备大体有以下不同类型:

输入设备如下表:

光—机械式: 光机鼓 Optical drum scanner, 激光扫描仪 Laser scanner

光学读入器 Optical character scanner recorder, 和微密度计 Microdensitometer

电子束式: 电视摄像管 Vidicon, 飞点扫描仪 FSS

固态器件: CCD 摄像机, 位置检出器 PSD 等

1. 光—机械式: 原理类似传真机的光机鼓 Optical drum scanner 可做为代表, 其工作原理如图 1-5-2 照片或底片紧贴在旋转鼓上, 用强光源照射, 从照片反光 (底片则用透光方式) 经 R、G、B 滤光片从传感器 (包括

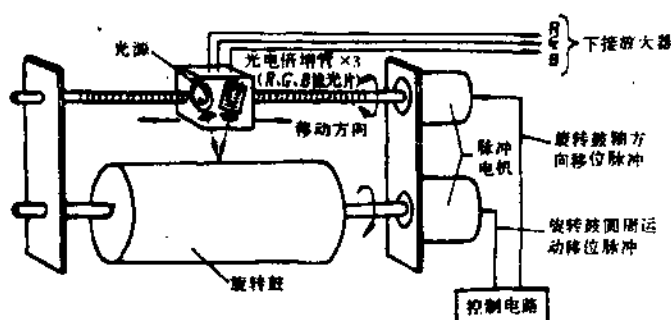


图 1-5-2 旋转鼓型扫描器的构造图

光电倍增管) 接收变成电信号。由于光电倍增管无法扫描, 因此需要旋转鼓旋转的同时由蜗杆带动传感器作轴向移动。这转动和移动精度要求很高一般为微米量级, 因此价格很贵, 但精度很高, 常用于遥感、地理图制作等领域。其优点是处理大尺寸图象、位置精度高、一套传感器扫描全图面故输出稳定。缺点是扫描速度慢、价格高、只能顺序扫描等。但是由于其清晰度高、线性好、信噪比高等优点仍作为大型图象处理中心常备的基本设备。最近国外出现用激光束机械扫描设备, 扫描是用摆镜实现的, 如图 1-5-3 所以扫描速度快, 一条扫描线上可有 40000 象元而几何畸变可达 0.0005% 受到重视。

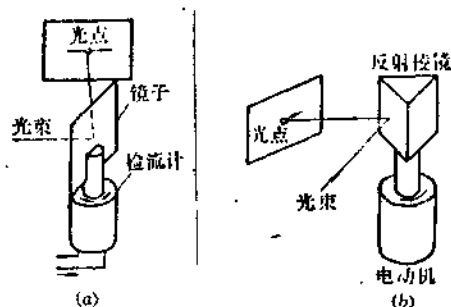
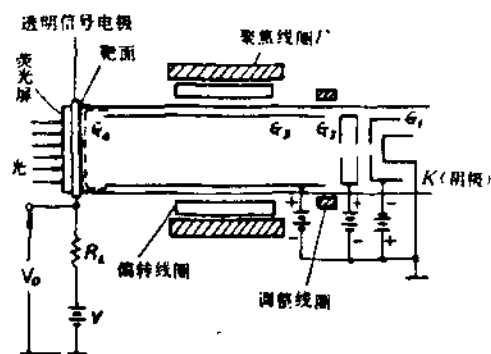
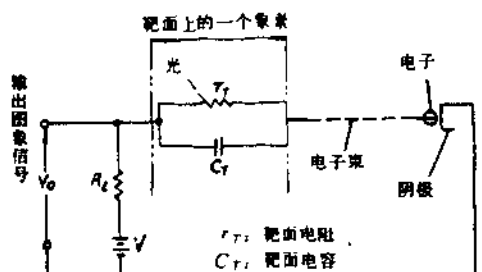


图 1-5-3 摆镜扫描
(a) 摇摆镜面 (b) 旋转棱镜

2. 电子束式：目前使用最广泛的一种，往往和较成熟的电视技术相联系。最普遍应用的是光导摄像器件，其工作原理如图 1-5-4 图 (a) 是其基本构造图。其中从

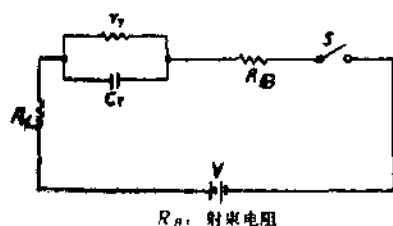


(a) 光导摄像管的构造



(b) 摄像管象素的等效电路

阴极发射电子经聚焦线圈及内部电极 G_1 G_2 G_3 加速并聚成细光束打到靶面。电子束经负载电阻 R_L ， V 构成回路到地。靶面上由电子束分割成象元。当外界物体的光到达靶面各象元，使各象元的靶电阻 r_T 发生变化（和光照射强度呈正变）使 R_L 上电流变化如图 1-5-4 (b) 所示。电子束扫描相当于电子开关接通某一象元如图 1-5-4 (c) 所示。



(c) 简化的等效电路

图 1-5-4 摄像管的等效电路

从以上结构可知要使图象分辨率提高则首先应使电子束细，它决定于电子枪结构和偏转线圈结构，其次是靶面的材料。一般电视用摄像管按标准扫描方式为 525 线，则电子枪产生电子束需几十微米。按靶面的材料又分为：

	光电灵敏度	暗电流
(1)硫化锑摄像管 Vidicon	40 nA/lux	$20 \mu\text{a}$
(2)氧化铅摄像管 Plumbicon	$375 \mu\text{A/lm}$	$3 \mu\text{a}$
(3)硒化镉摄像管 Chalnicon	$2760 \mu\text{A/lm}$	$1 \mu\text{a}$
(4)硒砷碲摄像管 Saticon	$170 \mu\text{A}/10 \text{ lux}$	$0.5 \mu\text{a}$
(5)硅靶摄像管 Siliconvidicon	$320 \mu\text{A}/0.5 \text{ lux}$	$8 \mu\text{a}$
(6)硒化锌摄像管 Newvicon	20 nA/lux	$5 \mu\text{a}$

上面数据中 lux 为照度勒克斯, lm 为流明。应该指出灵敏度要和暗电流综合考虑才能提高信噪比。

其它形式电子束器件有超正析象管 IO (Image Orthicon), 分流直象管 IS, 二次电子传导摄像管 SEC, 电子轰击导生电导摄像管 EBIC 等它们都为了改善摄像管的两个主要指标, 空间分辨率, 常用多少线来评价; 摄像灵敏度, 这要和噪声同时考虑, 即提高信噪比。

3 固态摄像器件, 以 CCD 摄像器件为主要代表。固体摄像器件的研究始于 1960 年。在 1970 年, 美国贝尔实验室发明了一种新型半导体器件——电荷耦合器件 (CCD)。CCD 器件是一种 MOS 集成电路。它的基本结构如图 1-5-5 所

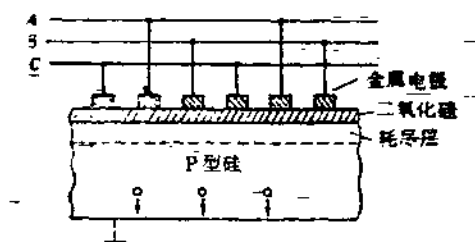


图 1-5-5 CCD 器件的基本结构

示。在 P 型硅衬底上通过氧化在表面形成一个二氧化硅层, 然后在二氧化硅上蒸发一层金属膜, 并用光刻的方法制成栅电极条。如果是三相驱动, 那么, 首先在所有金属栅极上都加上正偏压 U_1 , U_1 要大于相应的绝缘栅场效应管的导通电压。这样就使电极下面的空穴远离二氧化硅表面, 从而形成表面耗尽层, 通常称为表面势阱。势阱的深度与所加的电压近似线性关系, 如果在某一相加入比 U_1 更正的电压 U_2 , 则在该金属电极下面就会形成更深的势阱, 这种情况如图 1-5-6 所示。这时, 如果有光子入射就会产生空穴-电子对, 少数载流子——电子就会存储在较深的势阱中, 形成所谓电荷包。电荷存储情况如图 1-5-6 (a) 所示。由于栅极间的距离很小, 因此各栅极下的表面势会发生耦合。如果在下一组栅极上加上更高的电压后。那么, 耗尽层的变化将如图 1-5-6 (b) 所示, 电荷包会转移到更深的势阱中去。如果所加电压如图 1-5-6 (c) 所示, 那么, 电荷包就会转移到 B 相的栅极下面。由此原理, 如果我们对 A、B、C 三相加以按时序变化的时钟脉冲电压, 则电极下面的势阱也会按时序变化, 电荷包也会从一端传输到另一端。最后通过一个反偏压输出二极管收集电荷并送入前置放大