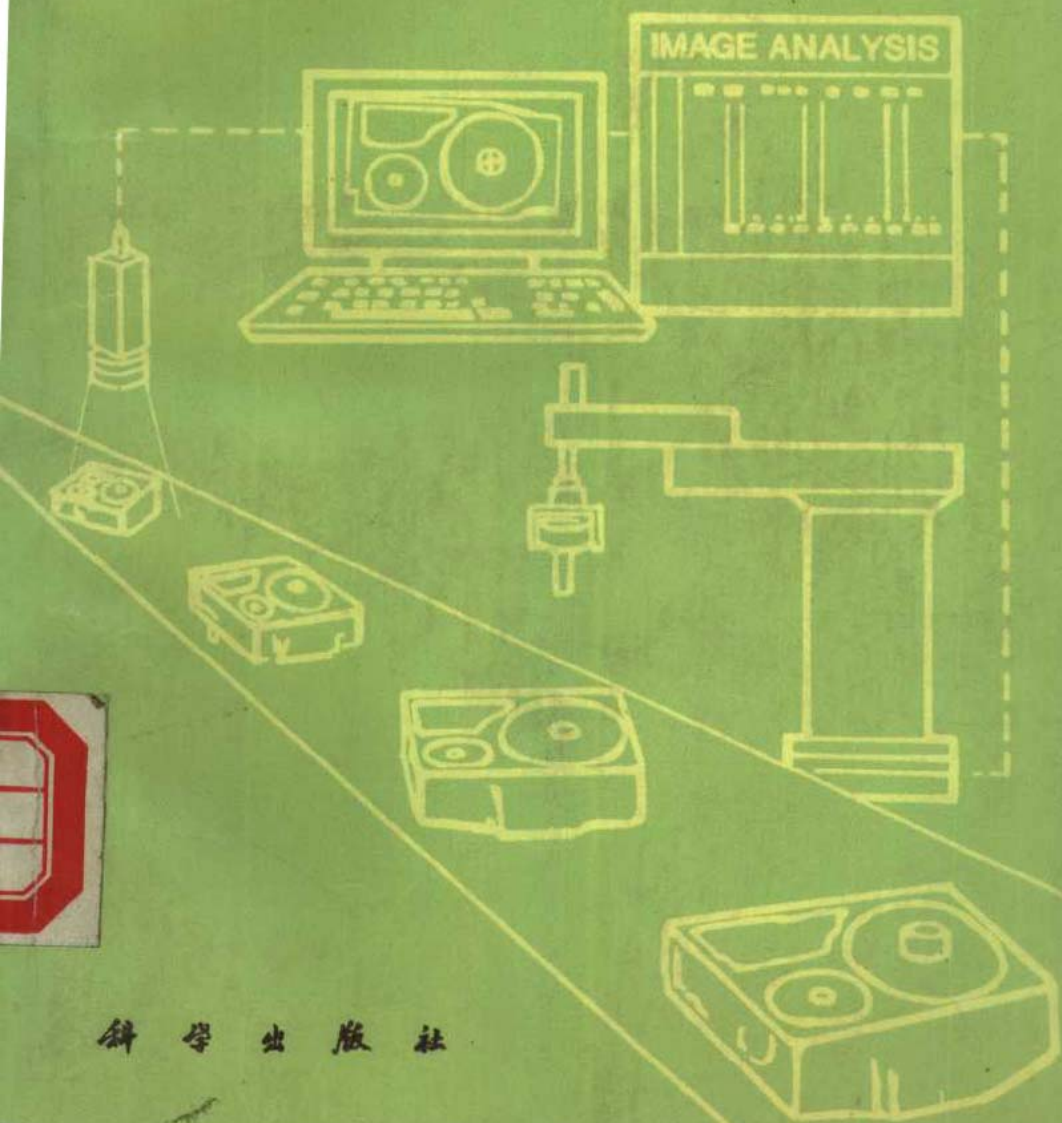


图像处理与分析

徐建华 编著



科学出版社

7
520

图像处理与分析

徐建华 编著

科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

2-F71/20

内 容 简 介

本书是在作者多年来为大学高年级学生和研究生开设的图像处理与分析课程讲义的基础上经修改、整理而成的。本书将重点放在边缘提取,图像分割,纹理、形状特征提取,运动估计和分析,景物距离和表面主方向估计,模型和知识的表示,推理和知识库等方面,兼谈二维图像分析和三维景物分析,力求比较全面地反映国际上在这一领域的主要研究成果和各种不同学派的观点。本书的特点是:取材新颖,内容丰富,每章末均附有大量参考文献,应用实例贯穿于全书,本书中介绍的大部分方法和算法可用C语言在计算机上运行。

本书可作为计算机科学与工程、信息工程、自动化、电机与电子工程、生物医学工程、材料科学、遥感、机器人学等专业的大学本科生和研究生的教材;也可供上述领域的科技工作者和高等院校有关专业的师生参考。

图 像 处 理 与 分 析

徐建华 编著

责任编辑 鞠丽娜

科学出版社出版

北京东黄城根北街15号

邮政编码:100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992年1月第一版 开本:850×1168 1/32

1992年1月第一次印刷 印张:12 7/8

印数:1-4600 字数:336000

ISBN 7-03-002502-4/TP·186

定 价: 11.70 元

前 言

图像处理和分析是研究景物图像的处理和分析从而获得景物解释的学科。目前,电子计算机对于科学运算、数据处理和管理已能应付自如;但对于识别物体、理解景物却是一筹莫展。尽快研制具有识别物体、理解景物功能的电子计算机则是当今新一代计算机研究的重点。

利用计算机来识别物体、理解景物的研究始于本世纪60年代;到70年代,二维图像处理和分析已取得了较大的进展;到80年代研究进入高潮,研究重点是对三维景物的理解。目前从事计算机视觉以及视觉心理和生理学研究两个方面的学者正在相互靠拢;应用部门提出的重大实际课题开拓了研究的广度和深度;大规模和超大规模集成电路技术的进展为研究提供了物质基础。

图像处理和分析是一门有着潜在前景并与计算机、自动化、集成技术、光学、视觉心理和生理、脑研究等众多领域交叉、综合的学科。它的应用范围涉及文件处理,办公自动化,邮政自动化,生物医学和材料的显微图像,医学、工业探伤和地质的放射图像,工业自动化,机器人视觉,遥感,导航,交通管理和军事侦察等等。

现有的同类书籍大都偏重于经典的图像处理(编码、增强和恢复等),或者侧重于计算机视觉的低层次处理,对于本学科十分关键而困难的诸如边缘提取、图像分割、纹理分析、形状分析、图像序列分析和三维景物分析的高层次视觉——模型和知识的表示、推理、知识库等缺乏统一的介绍。本书则将重点放在边缘提取,图像分割,纹理、形状特征提取,运动估计和分析,景物距离和表面主方向估计,模型和知识的表示,推理和知识库等方面,兼顾二维图像分析和三维景物分析,力求比较全面地反映国际上在这一领域的主要研究成果和各种不同学派的观点。

本书是在作者多年来为大学高年级学生和研究生开设的专业课、基础课讲义的基础上经过不断补充、修改、整理而成的。把标有“*”号的小节除去，留下的章节是基础部分，供一学期基础课或专业课教学使用。

本书中介绍的大部分方法、算法已通过科研、学生毕业实习和学位论文等形式在计算机图像系统中采用。

在本书的写作过程中，曾得到美国佛罗里达大学 Julis T. Tou 教授，清华大学常迥教授，北京大学石青云教授，上海交通大学李介谷教授，同济大学宣国荣教授，华东师范大学万嘉若教授，复旦大学吴立德、何永保教授的很多帮助和鼓励。南开大学王庆人教授和清华大学徐光佑教授仔细地审阅了全书，并且提出了许多宝贵的意见，在此向他们表示衷心的感谢！

徐建华

1989年5月于复旦大学计算机科学系

目 录

引论	1
第一章 图像预处理	14
1.1 图像变换	14
1.1.1 图像变换的一般表示	14
1.1.2 傅里叶变换	16
1.1.3 离散 Karhunen-Loeve 变换	20
1.1.4* Walsh-Hadamard 变换	24
1.1.5 Slant 变换	26
1.2 图像增强	27
1.2.1 灰度修正	27
1.2.2 图像平滑	34
1.3 图像恢复	37
1.3.1 图像的恶化过程及其数学模型	38
1.3.2* 图像恶化模型的离散形式	38
1.3.3* 图像恢复问题的一般解	40
1.3.4 畸变校正	42
参考文献	44
第二章 图像边缘提取和分割	45
2.1 边缘提取的经典方法——几种常用的边缘检测算子	47
2.1.1 梯度算子	49
2.1.2 Sobel 算子	51
2.1.3 Laplacian 算子	51
2.1.4 Kirsch 算子	52
2.1.5 Rosenteld 非线性门式算子	52
2.2 Marr 边缘检测算子	53

2.3*	曲面最佳拟合的边缘检测方法	56
2.3.1	Prewitt n 阶多项式拟合的边缘检测方法	57
2.3.2	Hueckel 分段线性函数拟合的边缘检测方法	58
2.3.3	Haralick 离散正交多项式曲面最佳拟合和二阶方向导数零交叉边缘检测方法	63
2.4*	利用空间结构关系和变分辨率数据结构的边缘检测方法	70
2.4.1	边缘检测的标记——松弛匹配方法	70
2.4.2	利用变分辨率的图像锥体数据结构作边缘检测	74
2.5	基于度量空间的空间域聚类	76
2.5.1	基于图像灰度直方图的空间聚类	76
2.5.2	递归算法	80
2.5.3	门限的选取	82
2.6*	区域增长	84
2.6.1	单一型链结的区域增长	84
2.6.2	混合型链结的区域增长	85
2.6.3	质心型链结的区域增长	97
	参考文献	98
第三章	纹理分析	101
3.1	纹理分析的自相关函数方法	102
3.2	纹理分析的数字变换方法	104
3.2.1	图像窗口和纹理特征的抽取	104
3.2.2	数字变换纹理分析在遥感地面覆盖物分析中的应用	107
3.2.3	傅里叶变换纹理分析的快速算法	110
3.2.4	傅里叶变换纹理分析的二次特征抽取	114
3.2.5	傅里叶变换纹理分析在海洋波浪波长和方向分析中的应用	118
3.3	纹理分析的光学-数字混合处理方法	122
3.3.1	光学-数字混合纹理分析原理	122
3.3.2	光学-数字混合纹理分析的应用实例——海洋波浪高分析	124
3.4	纹理的数学形态学结构分析	130

3.4.1	二值图像的结构元素	131
3.4.2	结构运算	132
3.4.3	结构运算的性质	134
3.4.4	几何结构函数	136
3.4.5	用结构函数作图像纹理分析	138
3.5	纹理的灰度分布统计特征分析	139
3.5.1	灰度共生矩阵纹理分析方法	139
3.5.2*	灰度-梯度共生矩阵的纹理分析方法	152
3.6*	基于图像自回归-活动和模型的纹理分析	156
3.6.1	图像纹理的自回归-活动和模型	157
3.6.2	用自回归-活动和模型进行图像纹理分析	161
	参考文献	162
第四章	形状分析	165
4.1	形状分析的预处理	166
4.1.1	二值图像和抑制背景的区域图像	167
4.1.2	区域边界提取和多边形逼近	169
4.1.3	区域骨架的提取	173
4.1.4	边界或骨架点的斜率、曲率和角	176
4.2	形状分析的区域内部变换方法	177
4.2.1	矩方法	177
4.2.2	投影和截口	183
4.2.3	模板匹配	185
4.3	形状分析的区域外形边界变换方法	187
4.3.1	区域边界的傅里叶描述器	187
4.3.2	区域边界的 Hough 变换和广义 Hough 变换	194
4.3.3	区域边界和骨架的多项式逼近	203
4.4	形状分析的区域内部空间域分析方法	205
4.4.1	数学结构形态学形状分析	205
4.4.2*	复杂形状区域的分解和结构描述	217
4.5	区域边界和骨架的空间域形状分析	221
4.5.1	链码方法	221
4.5.2*	结构方法	235

4.6*	形状分析的层次型结构方法	237
4.6.1	图像块的邻居寻找和边界确定	238
4.6.2	用四叉树数据结构作区域形状分析	245
	参考文献	252
第五章	图像序列分析	255
5.1	图像序列, 视差, 瞬时位置速度场和光流场	256
5.2	运动检测和估计的傅里叶方法	258
5.2.1	物体图像平移的检测和估计	258
5.2.2	物体图像旋转和尺度变化的检测和估计	260
5.3*	运动检测和分析的差分技术	262
5.3.1	差图像运动分析技术	262
5.3.2	累积差图像运动分析技术	268
5.4	运动估计和分析的时-空梯度技术	276
5.4.1	时-空梯度技术的最优估计方法	276
5.4.2	聚类方法	286
5.5	运动估计和分析的匹配技术	290
5.5.1	互相关方法	291
5.5.2	特征点匹配技术	292
5.6*	空间运动物体的三维运动估计	308
5.6.1	三维平移运动的估计	308
5.6.2	一般三维运动参数的估计	311
5.6.3	由空间物体点的运动确定图像空间的瞬时位置速度	314
	参考文献	315
第六章	场景分析	317
6.1	三维场景距离信息的获取	320
6.1.1	从立体视差测距	320
6.1.2*	从纹理梯度测距	331
6.1.3*	从遮挡提示测距	333
6.1.4	从聚焦测距	335
6.1.5	从脉冲飞行时间测距	338
6.1.6*	简易的三角测距	339
6.1.7*	结构光测距	340

6.2	三维场景物体表面主方向信息的获取	343
6.2.1	从阴影和遮挡边界估计表面主方向	343
6.2.2*	从轮廓估计表面主方向	352
6.2.3*	从纹理估计表面主方向	357
6.3	三维场景的物体或体元的表示和描述	358
6.3.1	以观测者为中心的物体或体元的表示和描述	360
6.3.2	以物体或体元为中心的表示和描述	362
6.4	三维场景的模型、关系结构和模型匹配	369
6.5	几个典型的计算机视觉系统	374
6.5.1	VISIONS	375
6.5.2*	ACRONYM 系统	386
	参考文献	397

引 论

人们可以通过各种观测系统从被观测的场景取得图像。观测系统包括：观测微小细胞的显微图像摄像系统；考察地球表面宏观植被分布、地貌和地质构造的卫星多光谱扫描成像系统；观测交通路口的机动车或机场跑道上飞机的机器人视觉系统；检查人体内脏或材料、弹体内部的超声、X射线层析系统。观测系统可以由单个观测仪也可以由多个从不同视角向物体探测的观测器组成。观测系统使用的光波段可以从可见光、红外、X射线、微波、超声到 γ 射线，以适应探测不同物理介质、材料和状态的场景。

在被观测的场景中，物体可以是静止的(相对意义下)，例如文件、细胞切片、远距离观测的地面覆盖物；也可以是运动的，例如飞行器、云层、海洋波浪、心脏图像；物体还可以是三维立体的，例如远近不一的目标群、机器各部件、表面凹凸不平的山脉、海洋波浪等等。

使用各种观测系统，在各种光波段条件下，从场景取得的图像可以是微观的，宏观的，表面的，内部的；也可以是静止的，运动的，局部的，整体的；但它们都是二维的图像或图像序列。

图像能表示成取值范围为 $[0, G]$ 的实函数：

$$\{f(x_i, y_j, t_k, \lambda_l)\}; \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, N-1; \\ k = 0, 1, 2, \dots, n-1; l = 1, 2, \dots, m$$

(1)

式中自变量 (x_i, y_j) 是位置坐标； t_k 是图像摄取的时刻； λ_l 是获取图像的传感器所使用的波段； $\Delta x = x_{i+1} - x_i$ 为垂直方向像素离散采样间隔； $\Delta y = y_{j+1} - y_j$ 为水平方向间隔， $i, j = 0, 1, 2, \dots, N-1$ ； $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ 为时间间隔， $k = 0, 1, \dots, n-1$ ； n, m, N, G 都是正整数； G 一般取 255。

9210085

固定 $\lambda_i = \lambda_{i'}$, 式(1)是 $\lambda_{i'}$ 波段射线作用下取得的图像时间序列(见图 1)。

$$\begin{aligned} & \{f(x_i, y_j, t_0, \lambda_{i'}), f(x_i, y_j, t_1, \lambda_{i'}), \dots, \\ & f(x_i, y_j, t_k, \lambda_{i'}), \dots, f(x_i, y_j, t_{n-1}, \lambda_{i'})\} \\ & i, j = 0, 1, 2, \dots, N-1 \end{aligned} \quad (2)$$

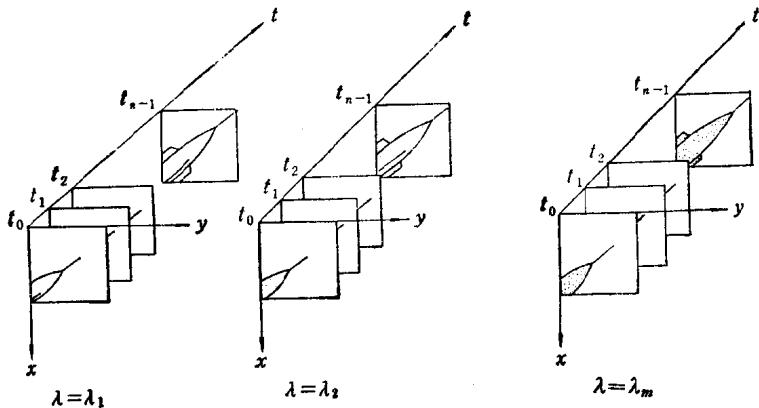


图 1 不同波段 (λ)、不同时刻 (t) 取得的图像

气象卫星 GMS-3 于 1985 年 8 月 31 日 8:00, 11:00, 14:00 发回地面三幅卫星云图见图 2(a)。 $\lambda_{i'}$ 是红外波段。14:00 开始上海地区出现特大暴雨, $n = 3$ 。

扇形束 B 型超声诊断仪输出的一个心动周期人体心脏图像时间序列见图 2(b)。 $\lambda_{i'}$ 是超声波段, $n = 14$ 。

如果固定时刻 $t_k = t_{k'}$, 那么式(1)是同一时刻景物的不同波段射线作用下取得的图像序列(见图 1)。

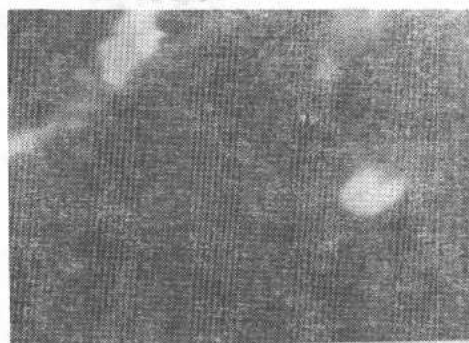
$$\begin{aligned} & \{f(x_i, y_j, t_{k'}, \lambda_1), f(x_i, y_j, t_{k'}, \lambda_2), \dots, \\ & f(x_i, y_j, t_{k'}, \lambda_l), \dots, f(x_i, y_j, t_{k'}, \lambda_m)\} \\ & i, j = 0, 1, 2, \dots, N-1 \end{aligned} \quad (3)$$

如果用多个观测器,例如用 M 个观测器,对同一场景可取得 M 幅图像:

$$\{f_r(x_i, y_j, t_k, \lambda_l); r = 1, 2, \dots, M\}$$

$i, j = 0, 1, \dots, N-1; k = 0, 1, \dots, n-1; l = 1, 2, \dots, m$ (4)

从观测系统取得的景物图像，实际上是一幅幅有不同灰度的



GMS-3

1985年8月31日

8:00



GMS-3

1985年8月31日

11:00



GMS-3

1985年8月31日

14:00

图 2(a) GMS-3 气象卫星红外云图的时间序列
(1985年8月31日上海地区特大暴雨前后的云图)

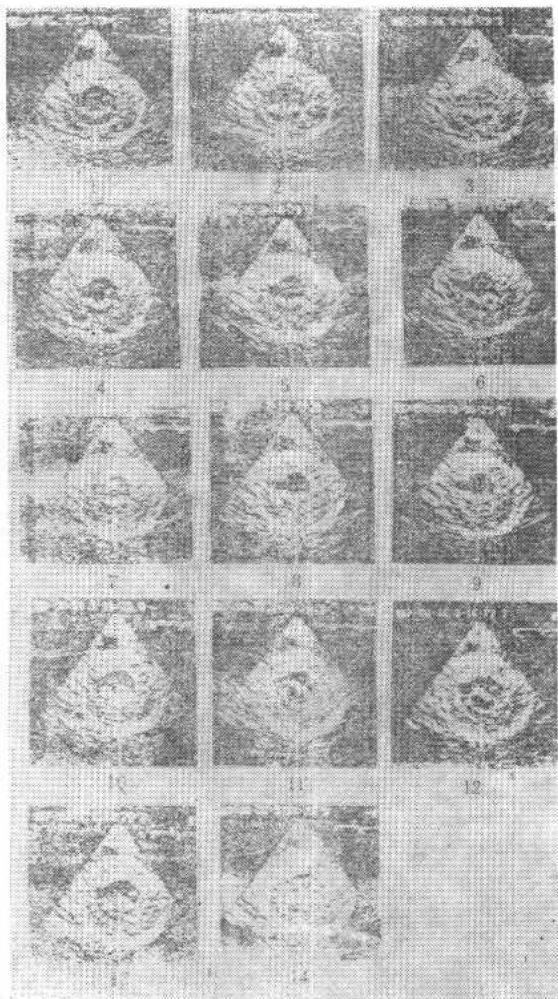


图 2(b) 扇形束 B 型超声诊断仪的心脏动态图像时间序列

点阵。对于单幅图像,式(1)也可以写成矩阵形式:

$$\begin{bmatrix} f_{0,0} & f_{0,1} & f_{0,2} & \cdots & f_{0,N-1} \\ f_{1,0} & f_{1,1} & f_{1,2} & \cdots & f_{1,N-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ f_{N-1,0} & f_{N-1,1} & f_{N-1,2} & \cdots & f_{N-1,N-1} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中 $f_{i,j} \triangleq f(x_i, y_j, \lambda_k, \lambda_l)$; $i, j = 0, 1, 2, \dots, N-1$; λ_k, λ_l 固定, 这里忽略不写标记. $f_{i,j}$ 取离散值 $0, 1, 2, \dots, G$.

每个矩阵元素称为图像的像素. $f_{i,j}$ 表示位于图像第 i 行第 j 列的元素灰度的大小. 因此式(5)表示的矩阵包含了单幅图像关于景物的全部原始信息, 图像的灰度变化是图像的特征源.

取不同 $\lambda_k (k = 0, 1, \dots, n-1)$ 和 $\lambda_l (l = 1, 2, \dots, m)$ 所得的图像序列式(1)以及多个观测器取得的图像序列式(4)含有景物的运动特征, 不同波段的反射特征, 景物与传感器之间的距离、物体表面主方向等信息.

场景往往由众多的物体组成, 反映在图像中是众多的区域. 每个物体或区域也可进一步分解成一些具有某种特性的最小成分——基元. 因此, 在取得图像以后首先要对复杂的景物进行分解, 并考察诸物体、区域或基元之间的相互联系; 还要提取诸物体、区域或基元的特征作为对场景进行分析和解释的依据.

从图像和图像序列可以提取很多特征, 这些特征是图像解释的基础. 目前常用的图像特征有以下几类:

- (1) 灰度: 包括多光谱、彩色信息.
- (2) 边缘: 它描述了灰度变化的程度和位置.
- (3) 纹理特征: 它描述了在图像中反复出现的局部模式和它们的排列规则, 反映宏观意义上灰度变化的一些规律.
- (4) 形状特征: 它描述了物体、区域或基元的外形, 从微观上精细地反映景物及其诸组成部分的形状.
- (5) 物体表面主方向, 即三维物体表面的法向.
- (6) 传感器与物体表面各点的距离.
- (7) 物体运动信息.

图像处理和分析系统将输入的图像或图像序列作预处理——灰度校正、噪声过滤和畸变校正, 根据提取的上述图像特征对场景、物体的图像作分割, 形成表示物体基元的图像区域, 并得到赋予区域上的特征以及这些区域之间的相互关系. 然后, 根据场景的模型、知识, 对场景作解释.

图像处理和分析的流程图如图 3 所示。

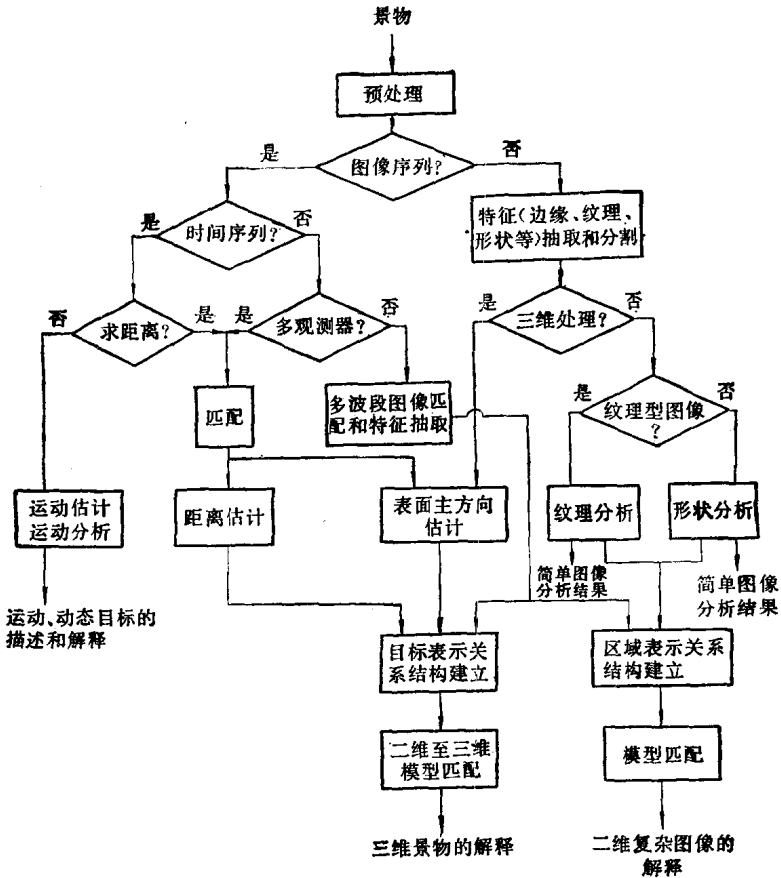


图 3 图像处理和分析流程图

通过图像处理和分析,我们希望获得关于场景的重要信息.例如,对人体细胞显微图像的分析得到某脏器是否发生病变的结论;对植物或动物细胞显微图像的处理和分析得到环境是否发生污染的结论;对地表植被遥感图像的分析得到作物长势的预测;对海洋波浪遥感图像的分析得到波浪方向、波长和浪高的估计;对交通路口车辆运行或飞机场飞机运行图像序列的分析得到交通路口或机场管理的重要信息;通过对图 2(a)所示气象卫星 GMS-3 在 8:00,

11:00 时刻的卫星云图的分析，我们希望获得上海地区在未来时刻(14:00)是否会发生暴雨的预测；通过对图 2 (b)所示心脏图像序列的分析，我们希望得到心脏是否正常，患的是何种病变的结论。

构造适用于图像处理和分析的数据结构，对于有效地实现计算机图像分析是一个十分关键的步骤。

数据是由数和符号组成的，有用的数据称为信息。数据结构能展示数据之间的关系且对这类数据指定允许的运算。

图像数据结构的一般形式有数组（具有相同类型的数据组成），记录（可以含有实数、整数、文字、数组的数据结构）和文件（允许按序存放数组和记录的数据结构），见图 4。

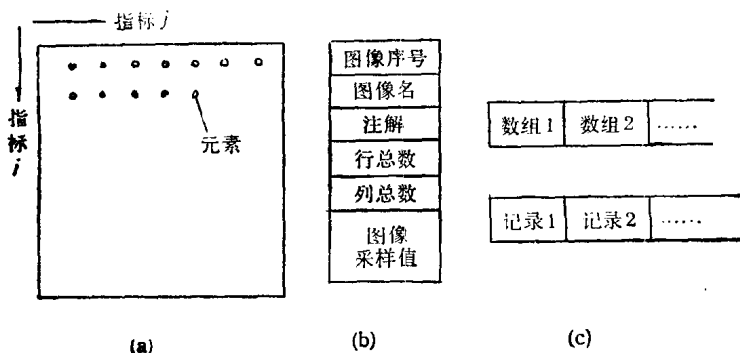


图 4 图像数据结构的三种一般形式。

(a) 数组；(b) 记录；(c) 文件

在图像数据结构中，较多地采用记录这一形式。图像采样值按行、列或窗口(矩形块)形式存放。

高级图像数据结构要求具有在程序执行过程中结构可以动态地改变的功能，也允许递归定义。高级图像数据结构形式一般有线性表、树和图。

几种数据类型可以用不同的形式表示。例如，不安放在一个文件中的数组和记录可以用线性表表示；数据类型用指针标记。这