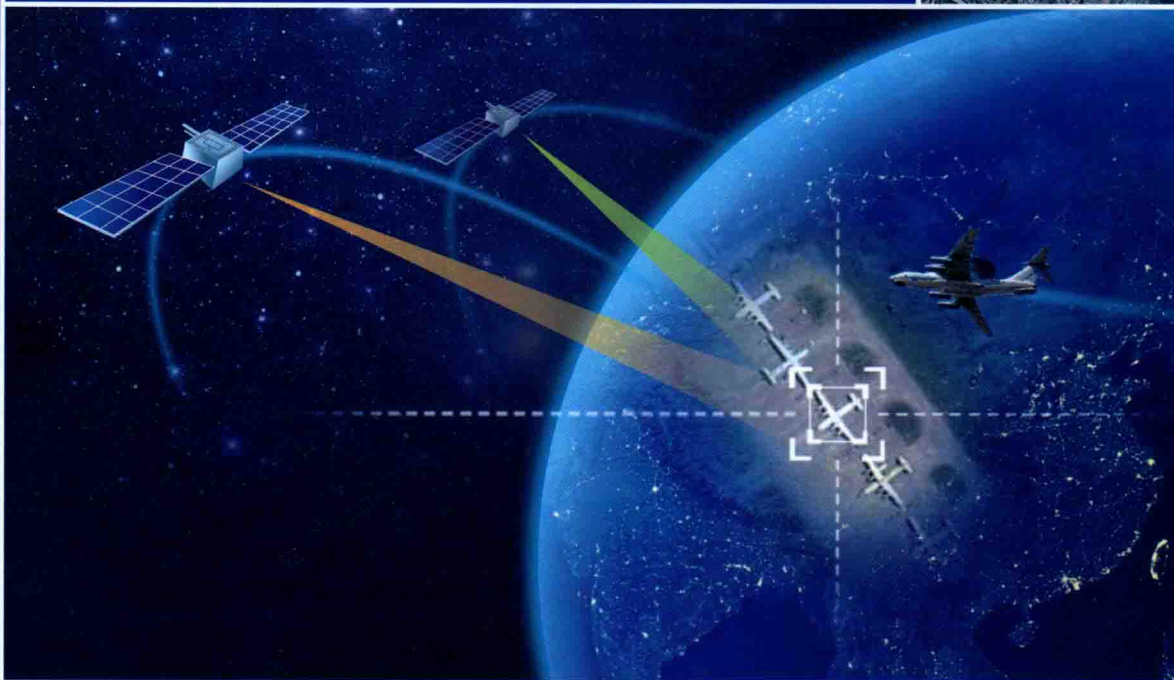


Zhencha Tuxiang Huoqu YU Ronghe Jishu

侦察图像获取 与融合技术

曾 峦 熊 伟 赵忠文 方秀花 翟 优 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

侦察图像获取与 融合技术

曾 峦 熊 伟 赵忠文 方秀花 翟 优 编著



国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

侦察图像获取与融合技术 / 曾峦等编著. —北京:国防工业出版社, 2015. 5

ISBN 978-7-118-10107-2

I. ①侦... II. ①曾... III. ①图象获取②数字图象处理 IV. ①TN919.8②TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 088677 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 插页 4 印张 19¼ 字数 368 千字

2015 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 68.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

随着信息化战争进程的加速,战场空间将不断扩大,由地面、空中向空间延伸,传统的战场侦察信息获取手段已经不能满足实际需求,航空、航天遥感图像获取与融合技术逐渐成为战场侦察图像获取与图像信息处理的重要手段,是现代信息获取与处理系统的关键技术之一。高分辨率、大幅面图像的获取,是后续图像信息处理的重要基础,也是国内外广泛关注的热点;图像融合技术可以使获取的侦察图像信息更加可靠和完整,包含更多的有用信息,提供更多有效的战场影像描述,已经成为军事侦察技术的重要组成部分。

现代图像获取技术是从传统的胶片成像发展起来的,其技术基础主要是光电效应和扫描成像,典型器件主要有电真空摄像器件、CCD 器件和 CMOS 器件,工作形式主要集中于可见光、红外、微光成像等方式。图像获取技术已经取得了长足的发展,目前正在往大面阵、高速、低功耗、数字化方向发展。图像记录也由胶片、磁带记录形式发展到了数字存储器记录的方式,并逐渐由动态存储器记录变为硬盘记录和静态存储器记录。随着数字记录技术的发展和实时记录大幅侦察图像的需求,图像记录速度越来越快,持续记录速率达到几百个 G 字节,记录容量也越来越大,已达到几百 T。

图像融合技术是在信息融合技术的理论上发展起来的,它已经成为一种新的图像处理技术和研究领域,并在光学遥感、雷达成像等领域的图像处理、分析中得到了广泛的应用。图像融合是充分利用多源图像的互补性和冗余性,对同一场景中的多源图像信息进行有效提取和综合,使图像信息更丰富、更全面和更可靠。由于像素级图像融合得到的信息最多、最完整,使它成为图像融合中的研究基础,但同时像素级图像融合对图像配准的要求非常高,要达到像素级甚至是亚像素级的精度,再加上获取多源图像的传感器所处的空间位置和分辨率等不同,使同一场景图像之间会发生平移、旋转、比例、亮度、对比度等变化,这就给图像融合工作带来了很大难度。因此,开展快速、全自动的图像融合理论和技术的研究具有重要的意义。

图像配准是图像融合技术中的关键环节,它是对取自不同时间、不同传感器或不同视角的同一场景的两幅或多幅图像进行匹配的过程,其目标就是要找到把一幅图像中的点映射到另一幅图像中对应的点上的最佳变换,使得多幅图像能在空间上完全对准,以便把同一位置上的多个像素的有用信息进行综合使用,

提高图像信息的可靠性和准确性,得到一幅更加完整、准确、可靠的融合图像。

本书主要介绍了图像传感器的基本原理、图像实时记录技术、图像融合原理、常用的特征提取算法、SIFT 特征提取算法、SURF 特征提取算法、基于特征的自动匹配方法和大幅面图像快速融合技术;推导了图像变换的数学模型,系统地阐述了图像匹配、图像校正、图像变换和图像合成等关键技术,并给出了图像融合的实例。

本书的主要特点如下:

(1) 为了解决常规的记录系统速率低与图像数据持续传输速率高之间的矛盾,在深入研究各种大容量数据记录系统优缺点的基础上,提出一种多通道软同步高速直写硬盘的数据记录方法,设计了自启动同步直写控制器,优化了 SCSI 硬盘的记录时序,有效地提高了硬盘的启动速度和数据持续记录速率,为实现 200MB/s 高速大容量遥感图像数据的实时记录提供了技术支持。

(2) 在深入研究最近提出的高效特征检测算法——SIFT 方法和 SURF 方法的基础上,针对其特征不变性还不够完善和运算速度还不够高的弱点,提出了一种基于扇形区域分割构建特征描述符的方法,进一步提高了 SIFT 和 SURF 方法的特征检测性能。

(3) 根据 SIFT 和 SURF 特征提取算法所提取到的特征具有多量性和遥感图像幅面大的特点,提出了基于统计的方法、基于变换模型、改进的 RANSAC 和基于外极线校验等多种自动匹配策略,这些匹配策略能依据输入图像自动计算匹配过程所需的各种阈值,使匹配过程无需人工干预,提升了图像配准的自动化水平。

(4) 针对传统的图像融合方法速度慢、耗时长 的弱点,提出了一种大幅面遥感图像自动快速融合方法,下采样图像特征提取和参数优化后,直接传递到原始图像进行配准和融合,并对常规的融合缝消除方法进行了改进,提高了图像融合质量,实现了大幅面遥感图像的全自动融合,缩短了融合时间,提高了图像融合的效益。

本书共分 9 章,其中第 1 章、第 4 章、第 6 章、第 8 章、第 9 章由曾峦教授编写,第 2 章由方秀花教授编写,第 3 章由赵忠文副研究员编写,第 7 章由熊伟研究员编写,第 5 章由翟优博士编写,翟优博士对改进的 SIFT 和 SURF 特征提取算法进行了编程实现,曾峦教授对全书进行了统稿。在编写过程中,得到了张怀利、张可黛博士等的支持。

本书编写过程中,得到了 2110 工程的资助,对此表示感谢。由于作者理论水平和实践经验有限,书中存在的缺点和错误在所难免,欢迎读者批评指正。

作者

2014 年 12 月于北京

目 录

第1章 绪论	1
1.1 图像信息	1
1.1.1 图像和像素	1
1.1.2 图像文件格式	3
1.1.3 图像的显示	7
1.2 图像实时记录技术现状	9
1.2.1 基于通用微机的记录技术	9
1.2.2 基于冗余磁盘阵列的记录技术	10
1.2.3 基于专用控制器的记录技术	12
1.3 图像融合技术的发展	14
1.3.1 图像配准技术	16
1.3.2 图像合成技术	20
1.4 本书主要内容	22
参考文献	23
第2章 常用的图像传感器	27
2.1 基础知识	27
2.1.1 光电效应	27
2.1.2 色度学原理	32
2.1.3 电视信号	35
2.1.4 图像的基本参量	41
2.2 摄像原理	44
2.2.1 电真空摄像器件工作原理	44
2.2.2 CCD 图像传感器工作原理	49
2.2.3 CMOS 图像传感器工作原理	61
2.2.4 LBCASTJFET 图像传感器工作原理	65
2.3 彩色图像传感器	69
2.3.1 三板彩色图像传感器	69
2.3.2 单管彩色摄像机	70
2.3.3 单板彩色图像传感器	71

2.4	图像传感器镜头	74
2.4.1	普通镜头	74
2.4.2	复杂镜头	78
2.4.3	特殊用途镜头	79
2.5	红外和微光图像传感器	86
2.5.1	红外图像传感器	86
2.5.2	微光图像传感器	87
2.6	本章小结	89
	参考文献	89
第3章	图像实时记录技术	90
3.1	图像实时记录系统基本结构	90
3.2	图像采集控制模块	92
3.2.1	LVDS 电平转换	93
3.2.2	CameraLink 接口	94
3.2.3	采集控制模块电路设计	96
3.3	图像数据并行存储模块	98
3.3.1	数据并行处理及同步缓存	98
3.3.2	基于多通道软同步的自启动直写控制器	100
3.3.3	基于 SCSI 协议的硬盘控制电路	104
3.3.4	总线电缆长度设计	105
3.3.5	终结电阻设计	107
3.3.6	SCSI 协议控制器	109
3.4	控制软件设计	111
3.4.1	软件流程	112
3.4.2	外部通信协议	117
3.4.3	命令集简介	117
3.5	实验结果与分析	120
3.6	本章小结	123
	参考文献	123
第4章	图像融合原理	124
4.1	成像原理	124
4.1.1	成像模型	124
4.1.2	坐标系统	128
4.2	图像融合基本模型	130
4.2.1	相机的运动	130
4.2.2	图像间的坐标变换	131

4.2.3	图像融合模型	133
4.3	图像配准技术	137
4.3.1	图像配准的数学模型	138
4.3.2	图像配准的基本框架	138
4.3.3	相似性测度	139
4.3.4	匹配策略	144
4.3.5	图像配准方法分类	148
4.4	图像校正技术	149
4.4.1	图像几何校正	150
4.4.2	图像亮度校正	154
4.5	图像变换技术	161
4.5.1	最近邻法	162
4.5.2	双线性法	163
4.5.3	三次线性插值法	164
4.6	图像合成技术	165
4.6.1	简单图像合成	165
4.6.2	基于金字塔分解的图像合成	166
4.6.3	基于小波变换的图像合成	169
4.6.4	常用的图像融合规则	175
4.7	本章小结	176
	参考文献	177
第5章	常用的特征提取算法	180
5.1	Harris 检测算子	180
5.2	SUSAN 检测算子	184
5.3	Forstner 检测算子	186
5.4	Moravac 检测算子	188
5.5	CLHC 检测算子	190
5.6	本章小结	192
	参考文献	192
第6章	SIFT 特征提取方法	193
6.1	SIFT 特征提取算法	193
6.1.1	高斯差分 DoG 滤波	193
6.1.2	尺度空间的极值检测	197
6.1.3	关键点的位置确定	198
6.1.4	关键点的方向参数	201
6.1.5	构建特征描述符	202

6.2	基于扇形区域分割的 SIFT 描述符	205
6.2.1	算法原理	206
6.2.2	实验结果与分析	209
6.3	自适应对比度阈值控制提取关键点	215
6.3.1	算法原理	215
6.3.2	实验结果与分析	218
6.4	自适应对比度阈值控制的扇形区域分割描述符	219
6.5	本章小结	221
	参考文献	221
第 7 章	SURF 特征提取方法	223
7.1	SURF 特征提取方法	223
7.1.1	积分图像	224
7.1.2	Fast - Hessian 特征检测算子	225
7.1.3	尺度空间构建	226
7.1.4	确定特征点主方向	227
7.1.5	构建特征描述符	228
7.2	基于扇形区域分割的 SURF 描述符	229
7.2.1	扇形区域分割描述符识别性能分析	229
7.2.2	扇形区域分割 SURF 描述符构建方法	231
7.3	基于三角形区域分割的 SURF 描述符	232
7.3.1	三角形分割 SURF 描述符性能分析	232
7.3.2	三角形划分 SURF 描述符构建方法	232
7.4	几种典型特征描述符匹配性能比较	234
7.4.1	测试图片	234
7.4.2	评价标准	235
7.4.3	实验结果及分析	235
7.5	SURF 描述符在星点匹配上的应用	239
7.5.1	星点检测	242
7.5.2	构建星点描述符	242
7.5.3	星点匹配	245
7.5.4	实验分析	245
7.6	本章小结	248
	参考文献	248
第 8 章	基于特征的自动匹配方法	250
8.1	基于统计的自动匹配策略	250
8.1.1	三峰值自动匹配策略	251

8.1.2	实验结果与分析	252
8.2	基于变换模型的自动匹配策略	257
8.2.1	匹配算法描述	257
8.2.2	实验结果与分析	260
8.3	基于改进的 RANSAC 的自动匹配策略	263
8.3.1	匹配策略	263
8.3.2	改进的 RANSAC 算法	264
8.3.3	实验结果与分析	265
8.4	基于外极线校验的自动匹配策略	269
8.4.1	基本情况	270
8.4.2	匹配策略	272
8.4.3	实验结果	273
8.5	本章小结	277
	参考文献	279
第 9 章	大幅面图像快速融合技术	280
9.1	大幅面图像融合框架	280
9.2	定位精度分析	283
9.3	图像的无缝融合	285
9.4	图像融合评价	288
9.4.1	主观评价标准	288
9.4.2	客观评价标准	289
9.5	实验结果与分析	292
9.6	本章小结	295
	参考文献	296

第1章 绪 论

随着信息技术的发展,现代战争的内涵发生了深刻的变化,现代战争已经发展为基于信息系统的体系作战模式,并扩展到包含陆、海、空、天、电磁等五维的作战空间,军事斗争也从体能较量、技能较量转向智能较量;从材料对抗、能量对抗发展到信息对抗。现代军事信息获取与处理技术已经成为军事信息对抗的重要组成部分,是军队实施正确指挥的前提,是取得作战胜利的重要保证。美国战略司令部把弹道导弹的打击过程划分为五个阶段:监视、理解、决策、打击和监视^[1],第一个阶段的监视就是战场信息获取的过程,为理解作战意图、做出正确决策和实施火力打击提供情报信息;最后一个阶段的监视也是搜集实施作战行动以后的战场信息的过程,为评估打击效果提供必要的信息,同时也为下一次的理解、决策和打击提供依据,即下一个作战周期的开始。随着现代信息技术的发展,军事信息获取与处理技术已经成为一个依靠多学科支持,涉及领域极其广泛的多层次、多种类综合军事活动,在信息化战争中有着举足轻重的地位和作用,其中航空、航天侦察图像的获取与融合技术是军事信息获取与处理技术的重要组成部分。

图像信息获取与融合技术在军用和民用中都有极其广泛的应用领域,特别是在军事领域,随着信息化战争进程的加速,以侦察图像信息获取与融合技术为核心的战场信息感知技术已经成为信息化条件下最具有影响力的军事信息获取与处理技术。

1.1 图 像 信 息

图像是用某种器件或设备对客观世界进行观测而获得的,能作用于人眼并使之产生视觉感知的影像。由于获取图像的设备或器材的不同,人眼可以观察到的图像也各式各样,从成像波段上可分为可见光图像、红外图像、微光图像、射线图像、雷达图像、SAR 图像等;从成像形式上可分为二维图像、三维图像等。本书主要讨论二维图像可见光图像的获取和融合问题。

1.1.1 图像和像素

从广义上看,图像是自然界景物的辐射能量随空间位置 X, Y, Z , 时间 t 和辐射波长 λ 变化而发生改变的函数,由于实际景物在时间、空间、频谱和能量上都

是有限的,因此这种函数通常是五维的有限函数。根据人眼视觉特性,自然界景物的色彩可用三个基本量来描述,即亮度 B 、色调 H 和饱和度 S 。因此,一幅自然景像可用下列方程组表示:

$$\begin{cases} B = T_B(X, Y, Z, t, \lambda) \\ H = T_H(X, Y, Z, t, \lambda) \\ S = T_S(X, Y, Z, t, \lambda) \end{cases} \quad (1-1)$$

如果是灰度图像,就只有亮度值 B 包含信息。

通常,需要通过摄像器件把自然界景物影像转换为可供记录的图像,在转换过程中会把空间三维的信息变成平面二维信息,并且一旦自然界景物的影像被记录下来后,时间和频谱也就在瞬间被固定下来了。因此,一幅记录下来的灰度图像就只是在二维像平面空间内亮度起伏变化的一组函数,可以表示为

$$I = f(x, y) \quad (1-2)$$

其中, x 和 y 表示二维平面空间中某一个位置坐标点, f 则代表图像在点 (x, y) 处的灰度取值,按照一定的规律排列在一起的一组函数值 I 就构成了一幅灰度图像。

记录图像的形式主要有两种:连续图像和数字图像。连续图像是指 f, x, y 的取值可以是任意实数;数字图像是指 f, x, y 的取值分别在图像性质空间和图像坐标空间中进行了离散化,只是在整数空间中取值,所以有时会用 $I(i, j)$ 来表示,其中 I, i, j 在整数集合中取值。

一幅图像是由许多基本单元按照一定的规律排列在一起构成的,每一个这样的基本单元就称为像素(pixel)。在一幅图像中,像素数目越多,分辨细节的能力就越强,图像的空间分辨率就越高。

使用计算机处理图像过程中,通常用一组 $M \times N$ 的矩阵来表示一幅二维图像,如式(1-3)所示,其中, M, N 分别表示图像的行数和列数,矩阵中的每个元素表示图像中的对应像素。

$$I = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1N} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{M1} & f_{M2} & \cdots & f_{MN} \end{bmatrix} \quad (1-3)$$

这样,在计算机中就可以用一个二维数组来存储图像。为了方便对图像运算过程的描述,有时采用矢量的方式来表示一幅二维图像,如式(1-4)所示。

$$I = [f_1 \ f_2 \ f_3 \ \cdots \ f_N] \quad (1-4)$$

式中: $f_i = [f_{1i} \ f_{2i} \ f_{3i} \ \cdots \ f_{Ni}]^T, i = 1, 2, \cdots, N$ 。

1.1.2 图像文件格式

计算机中记录图像的方式有多种,从对图像的表示形式上主要分为光栅图像和矢量图像两种。光栅图像记录格式是仿照原始的摄像机记录模拟图像的过程,把一幅图像按光电子从左至右、从上到下分割成一个二维的 $M \times N$ 个独立的像素,每个像素用一组数据来表示该像素的灰度或色彩强度,这样, $M \times N$ 个像素的强度值就构成一个二维数组。这种表示方式与人们对图像的认识比较相似,比较适合用于表示色彩、阴影和形状变化相对复杂的图像。但这种方式的弱点是直接表示了像素间相互关系的结构形式,使得图像分辨率受到限制,当图像放大到一定程度时,会出现方块效应;而当图像缩小后再恢复到原始尺寸时,图像会变得模糊。另外,这种表示形式生成的图像文件数据量非常大,不便于存储。

矢量图像形式中是用一系列线段或其组合体来表示实际影像的,线段的灰度(色彩)可以是均匀的,也可以是变化的,在线段的组合体中各部分一般采用不同的灰度(或色彩)。这种图像表示形式实际上是把一幅影像分解成若干组线段组合,图像文件只是记录这些线段组合的起止点、灰度(或色彩)变化过程,相当于计算机在屏幕上画线段的过程,因此,在图像文件中就相当于记录了一系列画线命令。这样,矢量图像形式在放大、缩小图像过程中不会损失图像分辨率,生成的图像文件数据量相对较小;但这种图像形式表示图像细节的能力较差,一般常用于绘制地图、地形等图像。

不同的计算机操作系统和软件使用的图像文件格式有所不同,在 Windows 操作系统中,通常使用的文件格式有如下 5 种:

(1) RAW 文件格式。这种文件格式比较简单,图像文件由两部分组成:第一部分称为图像头文件,字节数通常由用户自己定义,主要包含图像大小、每个像素的位数、图像数据起始位置等信息。第二部分为图像数据,按照头文件中指定的图像大小、每个像素包含的字节数来存储图像数据。一个 RAW 文件只能存放一幅图像。

(2) BMP 文件格式,也称为位图文件格式。这种文件格式由 4 部分组成:文件头、位图信息头、调色板和位图阵列。一个 BMP 文件只能存放一幅图像。

文件头由 14 个字节数据组成,描述了图像文件的格式(2 字节)、大小(4 字节)、打印格式(4 字节)、位图阵列的起始位置偏移量(4 字节)等信息;位图信息头由 40 个字节组成,描述了位图文件的大小、压缩类型和颜色格式等信息。

调色板给出了图像的尺寸(包括行、列数目)、每个像素的位数、压缩方法、目标设备的水平、垂直分辨率等信息;其中图像中每个像素可用 1、4、8、24、32 位来表示,分别用于描述黑白、16 色、256 色、真彩色图像和扩展真彩色图像;因为 24 位和 32 位的位图的数据部分是以 RGB 的形式来存储的,所以它们没有调色

板数据;而 1、4、8 位的位图都有调色板,这些位图的数据部分存储的是调色板中各颜色的索引号。

位图阵列给出了具体的图像数据,它可以是有压缩(仅用于 16 和 256 色的图像)和无压缩两种形式。位图数据以连续行的形式存储,且以相反的顺序存储,即文件读出的第一行是图像的最后一行。图像数据是从左下角到右上角顺序存储的。位图阵列数据以图像的左下角为图像坐标的起始点,这和我们通常所习惯的 $X-Y$ 坐标是一致的,即 X 坐标向右, Y 坐标向上。

(3) JPEG 文件格式。JPEG 格式是由国际标准化组织(ISO)和国际电话电报咨询委员(CCITT)两大标准组织共同推出的位图文件交换格式,它是数字图像的一种主要存储格式。在 JPEG 图像文件中,图像样本的存放顺序是从左到右,从上到下。

JPEG 文件大体上可以分成两个部分:标记码(tag)和压缩数据。标记码给出了 JPEG 图像的所有信息,类似 BMP 的头文件,主要包括图像的宽、高、量化表、霍夫曼(Huffman)表等;标记码由两个字节构成,它的高字节是固定值 0xFF,每个标记之前还可以添加数目不限的 0xFF 填充字节,低字节为具体的标记码;JPEG 头文件比其他类型的图像头文件要复杂一些,但在使用时并不需要用到每个数据区的详细信息。

常用标记码主要有:① SOI(Start Of Image):图像开始标记,代码为 0xD8,表示该图像文件为 JPEG 格式文件。② APP0:JFIF 文件相关信息标记,代码为 0xE0,其后存储图像的识别信息,如字符串 JFIF 和图像分辨率以及图像缩略图的信息。③ DQT(Define Quantization Table):量化表标记,代码为 0xDB,其后存储该图像用的量化表的信息,包括每个量化表的长度、量化表的数目以及每个量化表中的 64 个具体值(量化步长)。④ SOF(Start Of Frame):帧图像开始标记,代码为 0xC0,其后存储图像高度、宽度、颜色分量数以及每个像素的位数等。在 JPEG 压缩图像数据中仅包含一幅图像,其中在累进和顺序编码中,一幅图像即一帧画面,但在分等级编码中,一幅图像包含了多帧画面。⑤ DHT(Define Huffman Table):霍夫曼表标记,代码为 0xC4,其后存储的是该图像用的霍夫曼表的信息,包括每个霍夫曼表的长度、类型和其中的具体数值。⑥ SOS(Start Of Scan):扫描线开始标记,代码为 0xDA,图像的压缩数据紧跟在这个标记后;一帧画面包含了一次或多次扫描,其中对于顺序处理,一次扫描包含了对一个或多个图像分量进行的完整的编码,但对于累进编码,一次扫描包含了一个或多个图像分量数据单元的部分编码。⑦ EOI(End Of Image):图像结束标记,代码为 0xD9,一切 JPEG 文件都以此标记结束。

JPEG 文件格式如图 1-1 所示,共分为四层^[2]。

第一层,以 SOI 标记开始,包含了一个图像帧的压缩数据,最后以 EOI 标记结束。

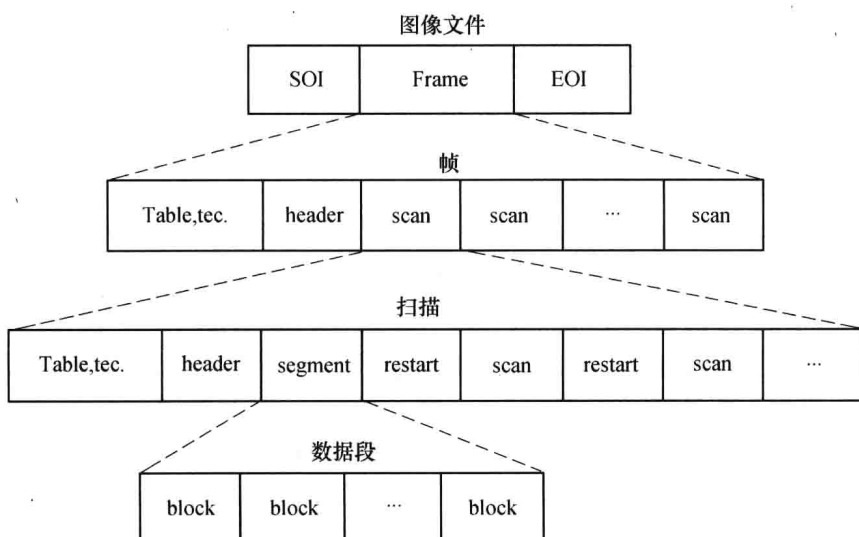


图 1-1 JPG 图像文件格式

第二层,帧压缩数据的具体构成情况。每帧数据包括一个帧头数据和许多扫描数据,帧头之前有一个或多个表。table 和 tec. 表示表和杂项,其中包括量化表和霍夫曼表。header 代表帧头,包括编码方法、取样精度、量化系数、源图像行数和每行取样数等。

第三层,描述了扫描段内部的结构。一个扫描段以扫描头开始,含有一个或多个编码数据段。扫描头包含扫描的起始信息、分量图像号码、参数、编码表的选择。Restart 是重新启动标记。

第四层,说明每一个熵编码数据段由一些最小编码单元的序列组成。每个 block 为最小编码单元,包括 4 个亮度块,2 个色度块。

压缩数据部分是 JPEG 文件的主体,JPEG 压缩过程大致如下:首先要把 RGB 图像转换成 YUV 彩色空间图像;然后用离散的余弦转换 (Discrete Cosine Transform, DCT) 将光栅数据转化成变化率信息;经过这个变换,就把图片里点和点之间的规律呈现出来了,量化过程把 DCT 编码产生的结果截断到一个较小压缩的值范围之内,更方便压缩;这是造成 JPEG 有损的一步,量化系数决定了丢失的数据量以及压缩的程度和重建图像的质量;最后,量化的结果用霍夫曼或算术编码来压缩,以产生最终的输出。最新的 JPEG2000 压缩标准使用快速小波变换代替离散的余弦转换,提高了信息的压缩率。JPEG 压缩后的图像文件占用的存储空间很小,能达到很高的压缩比例,并且重建后的图像质量与原图像感觉不出明显的区别。

JPEG 文件通常包含单个图像,可以是灰度图像或彩色图像,其中灰度图像的数据为单个分量,彩色图像的数据为三个分量。

(4) GIF 文件格式。它是一种公共的图像文件格式标准,而不是某个特定软件的副产品。GIF 文件使用一个字节来表示图像中一个像素的颜色值,所以最大只支持 256 色图像。GIF 文件结构比较复杂,一般包含七个部分:文件头、通用调色板、图像描述块和 4 个补充区。其中,文件头和图像数据是不可缺少的部分,补充区则可根据用户的需要来设置。

GIF 文件头主要包含:有效性标志和版本号、逻辑屏幕宽度和高度、全局标志、背景颜色、图像的长宽比。通用调色板包含 48 个字节的色彩配置信息,按红、绿、蓝的顺序排列;通用调色板的大小由全局标志位的最后三位决定,其最大长度为 768 字节。图像描述块包含:标识符、图像左上角坐标、图像宽度和高度信息、局部标志位、局部调色板、图像数据、分隔符;GIF 文件用 1 个字节的识别码 0x2C 来判断接下来的数据是否为图像描述块;局部调色板的大小由局部标志位的前三位决定,其最大长度为 768 字节。原则上 GIF 图像文件中每张图像都有其专属的局部调色板,如果没有,就必须以全局调色板来替代。调色板的数据也是按照红、绿、蓝的顺序排列。补充区分别为图像控制扩充块、图像说明扩充块、图像注释扩充块和应用程序扩充块;GIF 文件用 1 个字节的识别码 0x21 来判断数据是否为图像扩充块,并分别用 0xF9, 0x01, 0xFE 和 0xFF 进一步判断是否为图像控制扩充块、图像说明扩充块、图像注释扩充块和应用程序扩充块。

一个 GIF 文件可以存放多幅图像,头文件中包含的是全局数据,对所有图像都适用;图像描述块开始为局部数据,仅适用于其后的那幅图像。多幅图像存放时,每幅图像集中成一个数据块,每块的第一个字节是标识符,指示数据块的类型(可以是图像块、扩展块);最后一个字节是分隔符(可以是下一个数据块的开始或文件结束符),文件结尾块为 GIF 图像文件最后一个字节,其值固定为 0x3B。

GIF 图像文件的存储方式有两种:顺序存储和交错存储。顺序存储方式是采用由上而下,按实际图像上每行的次序逐一存放。交错存储方式将原始图像分成 4 个部分,第一部分由原始图像第一行开始,每隔 8 行取一行存储;第二部分是从原始图像第 5 行开始,每隔 8 行取一行存储;第三部分是从原始图像第 3 行开始,每隔 4 行取一行存储;第四部分是从原始图像第 2 行开始,每隔 1 行取一行存储。通过这种交错存储方式,不必等待图像传输完成就可以看到图像的概貌。这非常适合在网络上传输图像,所以 GIF 格式比较流行^[3]。

GIF 文件中的图像数据一般是采用改进的游程码(LZW,以 Lempel, Zivh 和 Welch 三个人命名的)算法进行压缩后的数据,其压缩比通常在 1:1 ~ 3:1。原始 LZW 压缩方法有时会出现一些“病态”情况,即某些压缩后的文件比未压缩的文件所占存储单元还要大,在 GIF 文件中对它进行了改进,以保证压缩后的数据比原始数据小。

(5) TIFF 文件格式。TIFF(Tagged Image File Format)文件一般分为 3 个部

分:文件头、一个或多个文件目录、图像数据区。文件头只有一个,固定在文件的最前面,包含了正确解释 TIFF 文件的其他部分所需的必要信息,由 8 个字节组成:2 个字节的 TIFF 文件标识(通用 II 表示 Intel 字节存放顺序,MM 表示 Motorola 字节存放顺序);2 个字节的版本信息(通用固定为 0x42,用来进一步定义图像文件是一个 TIFF 文件,这个数可能永远不会变,如果它改变了,就表示 TIFF 文件的格式已经改变了);4 个字节的用于表示文件目录的偏移量。

文件目录是名为标记(tag)的用于区分一个或多个可变长度数据块的表,它指出了图像数据区的个数信息和图像标记信息。图像标记信息通常包含四项内容:图像宽度、图像高度、图像数据区偏移量和像素位数;这些标记指明了各种有关的数据字段在文件中的开始位置,并给出每个字段的数据类型及长度;这种方法允许数据字段定位在文件的任何地方,且可以是任意长度,因此文件格式十分灵活。

图像数据区是根据图像文件目录所指向的地址,按照标记中指明的图像宽度、图像高度和像素位数,存储相关的图像数据。

TIFF 格式中支持 10 多种压缩编码算法,其中包括 RLE 压缩、LZW 压缩及 JPEG 压缩等。TIFF 格式可包含压缩和非压缩图像数据,如使用 RGB 无压缩方法,图像的数据不会减少;如果采用无损压缩方法 LZW 来压缩文件,信息在处理过程中不会损失,能够产生大约 2:1 的压缩比,可将原始文件减少到一半左右。

TIFF 格式支持任意大小的图像,一个 TIFF 文件可以存放多幅图像,也可以存放多个调色板信息。TIFF 存储图像的类型主要有:二值图像,灰度图像,索引图像,真彩色 RGB 图像和 Y_cb_c图像。

1.1.3 图像的显示

图像显示是将图像数据按照一定的规律、通过某种装置显示出来,目前,能输出图像的装置主要有显示器、打印机、投影仪、绘图仪、洗印机等。其中,最直接的图像显示设备是 CRT 显示器和液晶显示器。

CRT(Cathode - Ray Tube, 阴极射线管)显示器是使用电子枪发射高速电子束,它在垂直和水平偏转电场的作用下,按一定顺序打击在屏幕的荧光粉上,显示出该图像点,电子束的强度与图像数据中的亮度值成正比,图像数据越大,在屏幕上显示就越亮,这样,电子束扫描完整个屏幕后,图像就在屏幕上显示出来了。液晶显示器则利用液晶材料的光闸作用,在电压的控制下可以改变透光强度,这个控制电压也与图像数据中的亮度值成正比,图像数据越大,通光量就越大,该像素就越亮。同样,当图像每个像素按一定顺序加载在屏幕上不同的液晶上后,一幅图像就在屏幕上显示出来了。

打印机也是一种图像输出设备,只不过它是在纸张上把图像显示出来。早期的针式打印机输出的图像分辨率比较低,只能打印黑白或灰度图像,输出图像