

文章编号 1004-924X(2002)02-0194-07

航空照片的图像增强研究

张明慧¹, 徐卫¹, 张尧禹², 凌伟²

(1. 空军长春飞行学院计算机教研室, 吉林 长春 130022;
2. 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

摘要:航空照相是军事侦察的必要手段,而航空照片常需要后期处理才能获得准确的信息。当光学放大方法已不能获得更多的信息时,数字处理技术就变得非常必要。数字图像处理技术,包括图像增强和边缘提取的算法等都是航空照片处理的常用算法。航空照片图像增强系统,含硬件采样电路和图像处理软件包,软硬件协同工作。系统硬件的部分电路自行设计,另一部分采用成品电路。软件编制的关键是算法的选取,本系统对图像增强和边缘提取的算法进行了应用研究,并对图像处理的具体问题作了相应探讨,给出一种可行的图像处理系统构成方法。

关键词:航空摄影;数字图像处理;图像判读
中图分类号: TP751 **文献标识码:** A

1 引言

现代军事技术的发展日新月异,然而军事侦察技术还是离不开航空照片的拍摄。虽然自1996年全自动数码相机在美国问世以来,数码相机以其迅猛之势占据了世界相机市场的13%;在航拍领域它丝毫动摇不了传统胶片的地位。这是因为传统胶片的高分辨率让数码相机望尘莫及,如柯达公司用于高空摄影的3414胶片,可达630lp/mm的分辨率。

在实际应用中,由于地面漫反射、大气效应、侦察飞机的高空高速等因素的影响,有时航空照片的质量并不尽如人意,这就给地面判读人员判定目标带来困难。尤其在战时,对敌侦察不可能重复进行,用有限的照片资料获得更多更准确的目标信息是至关重要的。

2 航空照片图像增强系统^[1]的构成原理

图1是系统的构成图。系统由变焦镜头、数字式CCD摄像机、图像采集卡、DSP处理器阵列卡、步进电机控制卡和台式计算机等组成。系统

既可对航空照片进行处理又可对航空底片进行采样,当采样航空底片时须将底片放在“光箱”上,技术上对光箱的要求较高。

系统中,各部件的作用是:台式计算机提供使用者的操作界面、对整个系统的工作进行控制、显示并存储数字图像信息;步进电机控制卡控制镜头的变焦和对焦两个步进电机,使屏幕显示出要处理的图像。采用步进电机的方案是为了在台式计算机上以数字的方式控制图像的放大倍数,为判读工作提供尺寸依据;图像采集卡的作用是缓冲数字摄像机的图像数据、与ISA总线通讯并将数据提供给台式计算机;DSP处理器阵列接受台式计算机送来的数据进行处理。

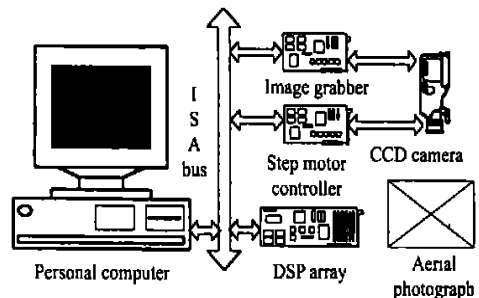


图1 图像增强系统原理图

Fig. 1 Diagram of the image intensifying system.

2.1 数字式 CCD 摄像机

因航空照片具有高清晰、高反差的特点(航空侦察用黑白照片),进行航空照片图像增强,对摄像机的指标要求较高,所以本课题采用美国 EG&G RETICON 公司的 MD4013 黑白数字摄像机。该摄像机具有 1024 × 1024 的分辨率、最高帧频速率 30f/s、大动态范围(1000:1)、低噪声;并具有内部模拟信号处理电路和 A/D 变换器。双路 8bit TTL 电平的图像数据信号均以 20Mpel/s 的速率输出。它具有液晶快门装置,可对航空照片进行单帧采样。单帧采样时,摄像机先清除 CCD 阵列暗电流再进行曝光,所以不必担心积累的暗电流对图像产生影响。在这种方式下工作只需要两个外部控制信号,快门输入信号控制液晶快门装置的曝光时间,帧起动信号控制整个(1024 × 1024 像素)一帧像的读出,MD4013 控制时序见图 2。由图可知,快门控制信号的典型脉宽为 30ms,这期间 CCD 作暗电流清除和图像曝光;而帧同步信号要在快门控制信号之后出现,脉宽最小维持 1μs;再经过 100μs 以后,图像数据出现在数据总线上;1024 × 1024 个像素共用时 29.7ms,至此,一帧图像的采样结束。

2.2 图像采集卡^[2]

选用 EG&G RETICON 公司的高速图像采集卡 SB4001。它是一块集 ISA 总线接口、帧缓冲器和摄像机控制器于一体的高性能图像处理卡,与 MD4013 摄像机可实现即插即用。SB4001 具有 4 个 8bit TTL 电平输入通道,每通道的数据传输率为 40Mbyte/s。帧缓存为 256Mbytes。可编程控制的定时器使摄像机的控制简单化、软件化。数字摄像机来的图像数据首先进入通道 FIFO,再去帧缓存、总线 FIFO 等处。当一帧数据被“通道 FIFO”接收后,由软件控制经多路开关将数据传入双向“总线 FIFO”,至此台式计算机可获得这批数据。SB4001 设计上的多路复用性使一块板可同时处理 4 路数字摄像机的工作。采样和缓冲数据的过程可通过键盘、软件及外部 TTL 电平的输入信号来控制。SB4001 板上自带微处理器,主要是进行板上流水线数据通路的控制、帧缓存地址分配、数据的传输等工作。此微处理器的内存中同时驻留 32 个应用子程序,这些程序的运行可由软、硬件来触发。SB4001 板的灵活性提供了应用上的多种选择和系统改进的裕量。

2.3 光箱的制作

图像细节的数字化对光箱的要求较高,第一光箱要满足照度的均匀性要求,一般光箱的中心和边缘的照度误差在 5% 以内;第二要求光箱的出射光为漫射光。只有这样才能减少出现在底片上的各种缺陷,如指纹、划伤、水迹和灰尘等;同时减少因投射光的不均匀造成的图像失真。光箱结构图见图 3,光箱由箱体、卤素灯、和毛玻璃组成。光箱的投射口与箱体内腔的比例要选择合理,并使卤素灯的光线不直接照射到光箱的投射口。卤素灯在箱内应按投射角度均匀放置,以保证各方向照明的均匀性。光箱内壁敷有泡沫苯乙烯树脂层,它的漫反射效率很高,使得投射出来的光为漫反射光。投射口装有两层毛玻璃,会使投射出的光更加均匀。

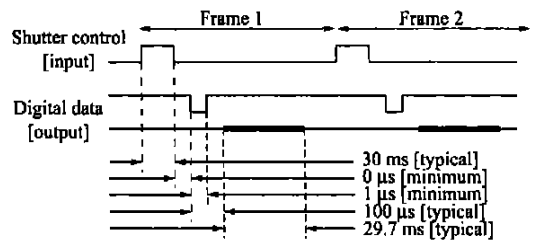


图 2 MD4013 曝光时间

Fig. 2 MD4013 exposure timing.

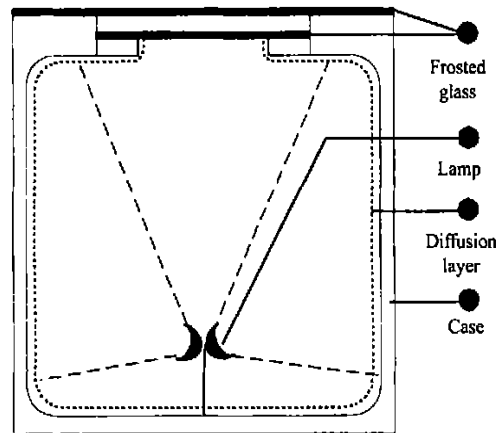


图 3 照明系统图

Fig. 3 Illuminator.

3 图像增强系统的设计思路

黑白感光材料是用乳剂层中的卤化银颗粒为

基本感光单元来记录影像的,颗粒的直径约为 1/200~1000mm。因工艺上的原因,最好的感光胶片也只能达到 630lp/mm。受拍摄条件的制约,图像的实际清晰程度将大打折扣。此外,航空拍摄是在远距离高机动情况下进行的,造成一些实物的像尺寸较小、细部钝化。也就是说,对一张特定的底片,仅用光学放大的方法已不能获得更多的图像细节。

本系统的设计思路是:用图像处理硬件电路把航空照片上感性的区域数字化,当选择适当放大倍数时,数字化图像的清晰程度可与照片相当。对数字图像进行图像增强处理,可获得更好的视觉效果,有利于图像判读。对于黑白航空照片,描述其特征的参数为反差、纹理和形状。数字图像的增强处理就是选择一种数学变换,将图像上的有用信息突出出来,由于被增强图像的多样性和处理目的差别,必须根据具体的问题选择数学变换算法和变换参数并反复调整才能达到满

意的效果,而不能简单地依靠一套固定算法,这就给算法的选择和软件的编制带来一定的难度。

4 图像增强系统软件设计

4.1 软件功能

如前所述,图像增强的任务因具体图像的特性而异,还与使用者的主观意愿有关,所以其软件要设计成模块化的多功能软件包,每一个模块包含一种处理功能;并可由使用者预先指定为级联处理、预定处理的先后次序和给定参数。本系统应用软件的开发局限于黑白图像的反差增强和边缘增强,包括线性反差拉伸、非线性反差拉伸、直方图变换的反差增强、微分边缘增强、空间滤波边缘增强、同态滤波算法。软件的总框图示于图 4。用户界面和图像显示存储部分由 VC6.0 编制,数据处理部分由 TMS320542 DSP 的 C 语言编制。

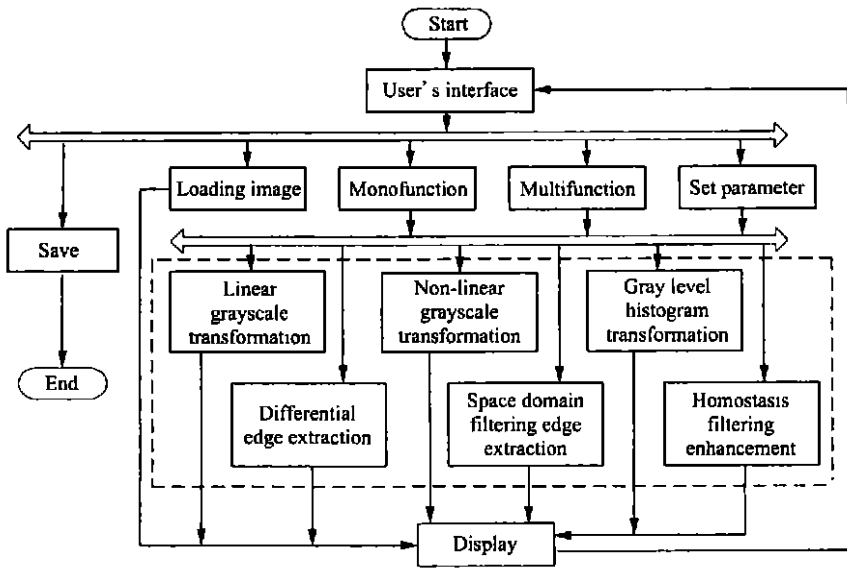


图 4 主程序框图

Fig. 4 Block diagram of the softwares.

4.2 软件通讯方式

(1) 软件通讯概述

8 片 TMS320542 组成处理器阵列,台式计算机和 DSP 之间通过 ISA 总线以 DMA 方式进行通讯。以台式计算机的 D000 段的前 32K 用户区作为通讯媒介,通讯开始时台式计算机轮流占用 8 片 DSP 的总线,将待处理的数据分别传给 DSP。显然,这需要硬件上对 8 片 DSP 进行轮流选通,

实际上用一片 74F273 以地址 CF8C:0000 锁存一个 8bit 数据,用不同的数据开启不同的 DSP 总线控制权。注意,同一段时间内只能有一片 DSP 向台式计算机开放,通讯结束后,DSP 开始处理数据,而台式计算机要对 8 片 DSP 的通用输出端 XF 做巡回检测。当某片 DSP 工作结束时,在其 XF 端输出高电平,台式计算机检测出此信号后占用其总线,从其 32K 数据 RAM 中读回处理结

果,如果还有处理任务,则继续传送数据。

(2) 内部控制字定义

软件设计的流程图中,虚线框中的运算都由 DSP 完成。就是说,每一片 DSP 的程序存储器中包含着本系统的所有图像处理算法的子程序,运行哪一个子程序,需要由台式计算机指挥。本系统中规定传送的第一个字(16bit)为程序控制字 PCW,第二个字为数据长度字 DLW,相关定义见图 5。

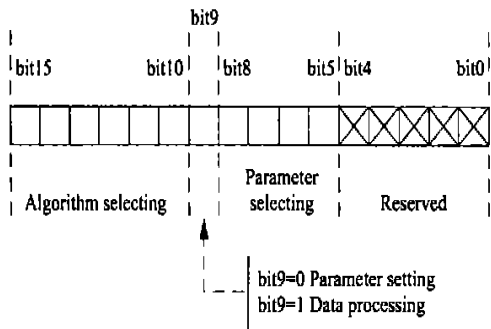


图 5 控制字节框图

Fig. 5 Layout of program control word(PCW).

程序控制字 PCW 的 bit15 ~ bit10 用作算法选择,按其二进制数值最多可选择 64 种算法。bit9 是工作方式选择位:当 bit9 = 0 时,表示进行参数设定,即送入主界面中人为设定的算法参数值;当 bit9 = 1 时,表示按要求运行程序,即在 PCW 和 DLW 后是要处理的图像数据。bit8 ~ bit5 用于选择算法内置的参数,最多可有 16 种,bit4 ~ bit0 保留。

数据长度字 DLW 的 16 位无符号二进制数用来表示一次传送数据的总量。当 PCW 的 bit9 = 0 时,DLW 表示其后跟算法参数的字数;当 PCW 的 bit9 = 1 时,DLW 表示其后跟图像数据的字数。因图像的 A/D 变换器为 8bit,所以传送到 DSP 的一个字包含两个像素。

4.3 图像处理的算法

(1) 反差增强算法^[4]

航空照片的反差受多种因素的影响,如大气效应、太阳照射的变化和照相机曝光量的设置等。有时照片的反差较小,使目视判读发生困难,数字化后的图像也达不到数字式摄像机的动态范围(256 级灰度)。对于仅占量化区间的较小部分的数字图像一般要进行反差扩展。反差增强的算法

有线性反差拉伸、非线性反差拉伸和直方图变换反差拉伸。反差拉伸算法是建立在对图像数据的统计运算基础上的,即先求出其灰度直方图。

应用中,线性和非线性拉伸算法都有固定的或分段的解析式,采用逐点运算的方法简化了编程。而对于 DSP 处理器阵列来说,进行这些运算比起查表并不会耗费太多的机时,却给分段的线性或非线性拉伸带来极大的方便,因为分段的拉伸处理会使查表法比较麻烦。这两种算法,可在相关文献中找到。只要高端和低端的饱和度调整合理、分段得当并深刻理解各种变换的效果,就会增加图像的“可读性”。本文不再赘述。

直方图变换的反差拉伸属于灰度函数的映射,它基于累积直方图函数。设 P 为累积直方图函数,则其定义为

$$P(g_k) = \sum_{i=1}^k h(g_i), \quad (1)$$

其中, $i = 1, 2, 3, \dots, K$, K 为灰度级数。上式表示在直方图中,灰度值小于和等于 g_k 的像素的总数。因处理前后的像素总数相等,所以只要知道处理前的累积直方图^[5]和处理后所要求的累积直方图并令

$$P(g_j) = P(g_k^e), \quad (2)$$

就可得拉伸前的灰度值 g 和拉伸后的灰度值 g^e 的映射关系。式(2)中 g_j 为拉伸前第 j 级灰度值, g_k^e 为拉伸后的第 k 级灰度值。这种处理方式一般找不到解析表达式;对于较简单的映射可用递推方式做处理,只须简单的程序即可完成;复杂的映射关系则须由一定的算法预先生成表格,再作查表处理。图 6 流程图叙述直方图平坦化的算法。

(2) 边缘提取算法

微分的方法可以使图像的细节增强、边缘清晰。对离散化的图像常用差分的梯度值作增强处理,对于图像 $g(x, y)$,其第 i 行 j 列上的梯度值为

$$|V_g(i, j)| = \{ [xg(i, j)]^2 + [yg(i, j)]^2 \}^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

其方向为

$$(i, j) = \tan^{-1} \frac{yg(i, j)}{xg(i, j)}, \quad (4)$$

其中

$$\begin{cases} xg(i, j) = g(i, j) - g(i - 1, j) \\ yg(i, j) = g(i, j) - g(i, j - 1) \end{cases}, \quad (5)$$

$xg(i, j)$ 和 $yg(i, j)$ 分别是图像的行和列差分, 则边缘增强后的图像由式(6)表示。

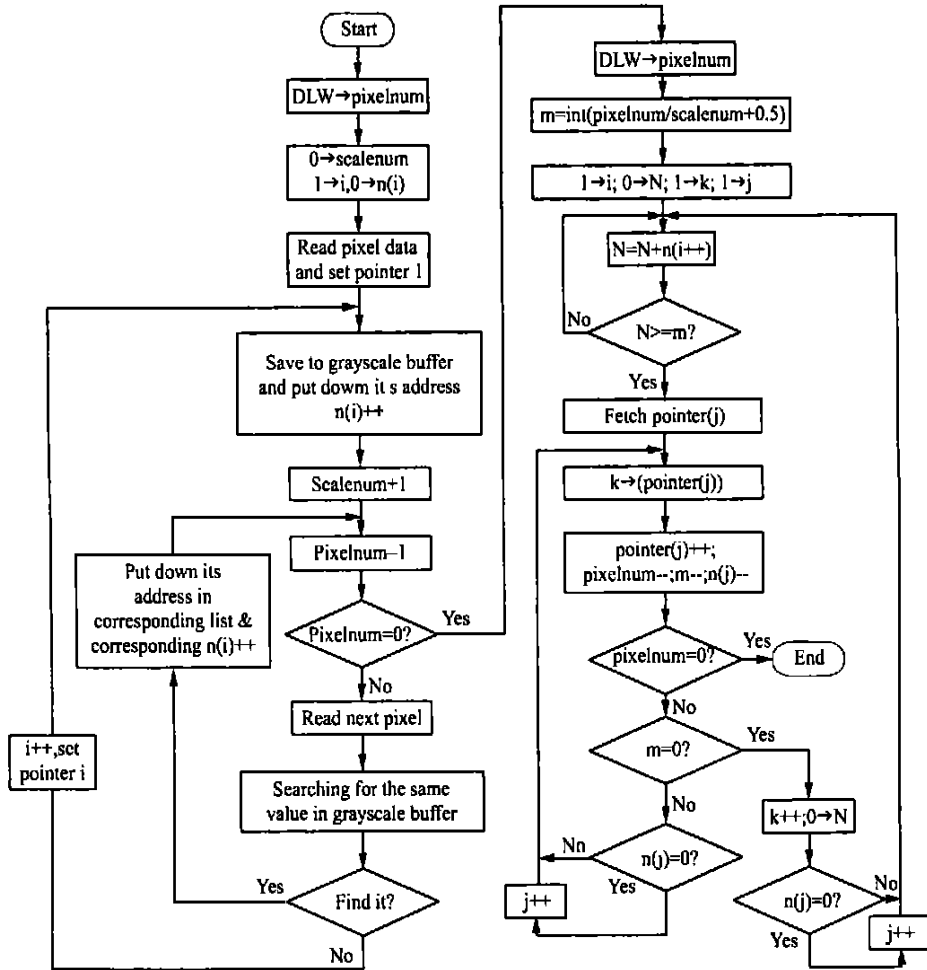


图 6 灰度运算法则直方图

Fig. 6 Algorithm of gray level histogram flattening.

$$g^e = |V_g|, \quad (6)$$

空间滤波算法实质上是以某一卷积算子 W 对图像进行卷积运算, 一般算子的边长选为奇数 $L_x = 2k + 1, L_y = 2p + 1$, 且 W 中的元素对称于算子中心, 滤波结果见式(7)。实用中的卷积算子 W 为阶次较小的滤波矩阵; 而用于边缘提取的只是高通滤波器。高通滤波器的输出等价于由原图像减去低通滤波的图像, 会损失原始图像; 所以航空照片的处理多采用将高通滤波的结果叠加到原始图像上的方法——称为高频加强滤波^[6]。

$$g^e(x, j) = \sum_{m=-k}^k \sum_{n=-p}^p W(m, n) g(i + m, j + n), \quad (7)$$

同态滤波在航空照片的图像增强中运用较多, 因同态滤波可以消除云雾的遮挡所造成的相乘性图像噪声。设图像的亮度函数为

$$f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y), \quad (8)$$

其中, $i(x, y)$ 为景物的照明函数, $r(x, y)$ 为景物的反射函数。先对亮度函数做对数变换

$$z(x, y) = \ln f(x, y) = \ln i(x, y) + \ln r(x, y), \quad (9)$$

再作付氏变换

$$Z(u, v) = I(u, v) + R(u, v), \quad (10)$$

用 $H(u, v)$ 作频域滤波

$$S(u, v) = H(u, v) I(u, v) + H(u, v) R(u, v), \quad (11)$$

$H(u, v)$ 要使 $I(u, v)$ 有较大衰减并尽量保留 $R(u, v)$ 。付氏反变换得

$$s(x, y) = i(x, y) + r(x, y), \quad (12)$$

去反对数得增强后的图像为

$$g^e(x, y) = i^e(x, y) \cdot r^e(x, y), \quad (13)$$

5 图像处理实例

图 7 为原始图像,图 8 为灰度值拉伸的结果,图 9 为增强的拉普拉斯算子^[7]空间滤波的输出,



图 7 原始图像

Fig. 7 Original image.

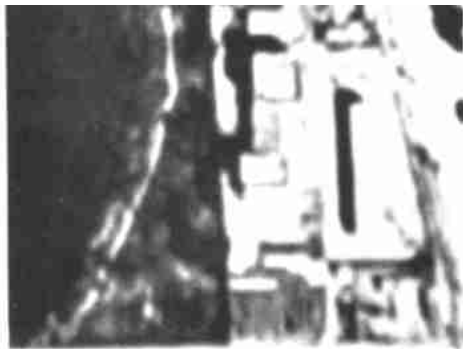


图 8 灰度直拉伸图

Fig. 8 Grayscale transformation.



图 9 空间滤波图

Fig. 9 Reinforcing laplacian.

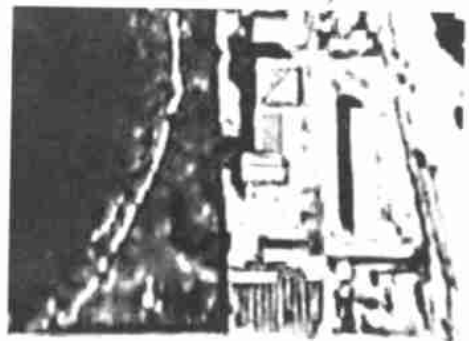


图 10 同态滤波图

Fig. 10 Homostasis filtering.

图 10 为同态滤波后的图像。由图中可看出同态滤波的效果较好,图中下部农田的垄清晰可辨。而图 9 中,虽能看出农田,但高频成分有一定的丢失。实践中,对于不同的图像应采取不同的处理方法,算法的参数也需不断调整,以期达到最佳图像输出,否则,将得到相反的效果。

参考文献:

- [1]余浩清. 摄影与空中摄影[M]. 北京:测绘出版社,1985.
- [2]Theo P. *Algorithms for graphics and image processing*[C]. USA.:Computer Science Press, Inc. 1982.
- [3]扬凯. 遥感图像处理原理和方法[M]. 北京:测绘出版社,1988.
- [4]Gonzalez R C, Wintz P. *Digital image processing*[C]. USA.:Addison - Wesley, 1977.
- [5]Hall E L. *Computer image processing and recognition*[C]. USA:Academic Press, 1979.

[6]徐卫,张明慧,张尧禹. 阵列式弹道测量系统[J]. 光学 精密工程,2001,9(4):339 - 343.

[7]吴晓波. 图像边缘特征分析[J]. 光学 精密工程,1999,7(1):59 - 63.

Research on image enhancing for aerial photographs

ZHANG Ming-hui¹, XU Wei¹, ZHANG Yao-yu², LING Wei²

(1. *Department of Computer, Changchun Aviation Institute of Chinese Air Force, Changchun 130022, China;*

2. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)*

Abstract : One of the necessary detecting measures in military use is aerial photoreconnaissance. Some upper process is needed for getting accurate information. The digital image processing technique becomes very important when further information can be obtained by the optically enlarging method. The algorithms of enhancement and edge extraction are both common methods. Normally, the system consists of sampling hardware and processing software. A practicable model of the digital image processing system is given and some corresponding algorithms are discussed in this paper.

Key words : aerial photography; digital image processing; image interpretation

作者简介:张明慧,(1974 -),女,长春市人,1996年毕业于东北师范大学,同年就职于空军长春飞行学院计算机教研室,主要从事计算机教学、光电检测和自动控制仪器的研究工作,目前在长春光机所攻读计算机硕士学位。