

航空影像的模糊增强方法

潘 励 郑 宏 朱 劼 徐 新

(武汉测绘科技大学信息工程学院,武汉市珞喻路 129号,430079)

摘 要 根据航空影像的灰度特性,选用像素的相对灰度等级作为模糊特征,采用模糊算法实现航空影像的模糊增强处理。实验表明,模糊算法较传统方法可取得更好的增强效果。

关键词 航空影像;模糊增强;图像处理

分类号 P 231.5, TP273

图像增强历来是图像处理中的一个重要问题,其主要目的是把图像转换成更适合人眼观察判断或机器视觉分析处理的另一种形式,其实质是有选择地强调图像中某些信息而抑制掉另一些信息,以增强图像的效用^[1,2]。由于图像本身的复杂性,在处理过程的各个不同阶段可能出现不确定性和不精确性,即模糊性。近年来不少学者致力于把模糊集理论引入图像处理和识别技术的研究,并取得了显著的成效。他们的研究成果表明,基于模糊集理论的处理和识别技术在一些场合具有比传统方法更好的效果^[1,3,4]。

航空像片包含了十分丰富的地理信息,是地理信息系统重要的信息源之一。但是,由于受外在环境等多种因素的影响,航空摄影像片不可避免地存在着反差较低、地物边界轮廓不清等现象,给直接判读和量测带来了一定困难。本文采用模糊算法对航空影像作了模糊增强处理,获得了满意的结果。

1 航空影像的模糊特征平面

根据模糊子集的概念,一幅灰度级为 L 大小为 $M \times N$ 的二维影像 A ,可作为一个模糊点集阵看待,记为:

$$A = \begin{bmatrix} P_{11}/X_{11} & \cdots & P_{1N}/X_{1N} \\ \vdots & & \vdots \\ P_{M1}/X_{M1} & \cdots & P_{MN}/X_{MN} \end{bmatrix}$$

式中, P_{ij}/X_{ij} 表示影像中第 (i, j) 点像素具有某种特征的程度为 P_{ij} ($0 \leq P_{ij} \leq 1$),称 P_{ij} 为模糊特征。若以像素的相对灰度等级作为感兴趣的模糊特征,令 X_{ij} 表示影像中第 (i, j) 点像素的灰度值, X_{\max} 表示最大灰度值,则模糊特征可由下式提

取得到:

$$P_{ij} = F(X_{ij}) = [1 + ((X_{\max} - X_{ij})/F_p)^2]^{-1} \quad (1)$$

式中, F_p 是模糊参数。式 (1) 表明,当 $X_{ij} \rightarrow X_{\max}$ 时, $P_{ij} \rightarrow 1$; 当 X_{ij} 减小时, P_{ij} 随之减小。故式 (1) 定义的模糊特征 P_{ij} 将具体表示影像中第 (i, j) 点像素具有最大灰度值的程度,全体 P_{ij} ($i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$) 组成的平面称为航空影像的模糊特征平面。考虑到当 $X_{ij} = 0$ 时, P_{ij} 为一有限正数:

$$T = [1 + (X_{\max}/F_p)^2]^{-1} \quad (2)$$

故 P_{ij} 的实际取值范围是 $[T, 1]$

2 航空影像的模糊增强方法

2.1 模糊增强算法

模糊增强处理是在模糊特征平面上进行的,用于增强的算子称为“模糊对比度增强算子”(INT)。对于一个模糊集 A 进行的对比度增强运算,产生另一个模糊集^[1]: $A' = \text{INT}(A)$,其隶属函数为:

$$\begin{cases} \underline{A}'(x) = \underline{\text{INT}}^A(x) = \\ \begin{cases} 2[\underline{A}(x)]^2, & 0 < \underline{A}(x) < 0.5 \\ 1 - 2[1 - \underline{A}(x)]^2, & 0.5 \leq \underline{A}(x) \leq 1 \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

式中, $\underline{A}(x)$ 为 x 对子集 A 的隶属度。

该运算降低了模糊集 A 的模糊性,因进一步增大了 0.5 以上的 $\underline{A}(x)$ 值,减小了 0.5 以下的 $\underline{A}(x)$ 值,可用隶属度变换 T 表示上述运算:

$$\hat{A}(x) = T_1(\underline{A}(x)) = \begin{cases} T_1(\underline{A}(x)), & 0 \leq \underline{A}(x) < 0.5 \\ T_1''(\underline{A}(x)), & 0.5 \leq \underline{A}(x) \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

将式(4)用于模糊特征平面,则 $\underline{A}(x) = P_{mn}$, 即有:

$$\hat{P}_{mn} = T_k(P_{mn}) = \begin{cases} T_k(P_{mn}), & 0 \leq P_{mn} < 0.5 \\ T_k''(P_{mn}), & 0.5 \leq P_{mn} \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

式中, T_k 定义为 T 的多次递归调用。当 $k \rightarrow \infty$ 时, $T(P_{ij})$ 将产生二值图像。不难看出,对 T_k 作有限次递归调用,图像可显著增强。由此,可得模糊增强算法:

1) 对航空影像按式(1)进行模糊特征提取,得到图像模糊特征平面 $P_{ij} = F(X_{ij})$;

2) 在模糊特征平面上,对模糊特征 P_{ij} 按式(5)进行对比度增强变换 T_k ,得到已增强的模糊特征 \hat{P}_{ij} , $\hat{P}_{ij} = T_k(P_{ij})$;

3) 对新的模糊特征平面按式(1)进行逆变换,得出相应的已增强的输出图像。

算法中,考虑到 $P_{ij} \in [T, 1]$, \hat{P}_{ij} 平面可能有 \hat{P}_{ij} 小于 T 的区域,对此将所有小于 T 的 \hat{P}_{ij} 值均用 T 取代,便有 $T \leq \hat{P}_{ij} \leq 1$,它是逆变换的约束条件。

在模糊增强处理过程中,合理选择模糊参数 F_p 是保证增强效果的重要环节。模糊参数的选择与图像空间域的分界点 X_c 的确定有关,分界点要求满足以下条件:

$$\begin{aligned} \text{当 } X_{ij} = X_c \text{ 时, } P_{ij} &= 0.5 \\ \text{当 } X_{ij} > X_c \text{ 时, } P_{ij} &> 0.5 \\ \text{当 } X_{ij} < X_c \text{ 时, } P_{ij} &< 0.5 \end{aligned} \quad (6)$$

因此在确定分界点 X_c 后, F_p 值可由式(1)令 $P_{ij} = 0.5$ 直接求得。事实上,在公式(1)中,令 $P_{ij} = 0.5$,有:

$$F_p = X_{\max} - X_c \quad (7)$$

当 X_c 减小时, F_p 增大;当 X_c 增大时, F_p 值减小。目前,在实际处理中, X_c 主要根据实际要求来确定。若需要对航空影像进行整体增强,取 $X_c = 0$;若需要对影像中已知的灰度值在 L 以上的目标进行增强,取 $X_c = L$ 。在实验中发现,在个别情况下采用由式(7)确定的 F_p 值进行图像的模糊增强,其效果不甚明显,如图 1(d) 所示。故本文将式(7)改为:

$$F_p = U(X_{\max} - X_c) \quad (8)$$

式中, U 为实数, $U \geq 1$; X_{\max} 为影像最大灰度值。当图像的模糊增强效果不甚明显时,适当增加 U

值,可使图像的增强效果得到明显改善,如图 1(e) 所示。

2.2 模糊增强效果的度量

为了检验和评价增强效果,本文根据文献 [3, 4],采用图像增强前后的两个模糊熵进行比较。模糊熵是影像模糊程度的一种度量,其值的大小反映了影像模糊的强弱。影像增强的目的是为了减小影像模糊,故影像增强是朝着模糊熵减小的方向进行的。

设 n 个元素的模糊集合为 P ,熵定义为^[3,4]:

$$H(P) = [1/(n \ln 2)] \sum_{i=1}^n [S_n(P_i)], \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

式中, $S_n(\cdot)$ 为 Shannon 函数, $S_n(P_i) = -P_i \ln P_i - (1 - P_i) \ln(1 - P_i)$ 。将式(9)推广到二维图像的模糊集合 P 中,有:

$$H(P) = [1/(MN \ln 2)] \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [S_n(P_{ij})] \quad (10)$$

式中, $S_n(P_{ij}) = -P_{ij} \ln P_{ij} - (1 - P_{ij}) \ln(1 - P_{ij})$ 。在具体解算时,考虑到 $P_{ij} = 1$ 的情况, $S_n(P_{ij})$ 应为:

$$S_n(P_{ij}) = \begin{cases} -P_{ij} \ln P_{ij} - (1 - P_{ij}) \ln(1 - P_{ij}), & P_{ij} \neq 1 \\ 0, & P_{ij} = 1 \end{cases} \quad (11)$$

用模糊增强算子 T_k 作用在 $P = \{P_{ij}\}$ 上,可产生 $P' = \{\hat{P}_{ij}\}$,该集合的熵 $H(P')$ 的定义与式(10)相同。由于熵 $H(P)$ 是非负的,而算子 T_k 可递归调用,当 $k \rightarrow \infty$ 时, $P' = \{\hat{P}_{ij}\}$ 变成一个普通集合,即

$$\hat{P}_{ij} = \begin{cases} 0, & 0 \leq P_{ij} < 0.5 \\ 1, & 0.5 \leq P_{ij} \leq 1 \end{cases}$$

$$i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N \quad (12)$$

此时增强后的图像为二值的,故 $H(P') = 0$,说明图像的模糊增强效果是朝着熵减的方向进行的,即 $H(P') < H(P)$ 。

3 实验

本文对一幅航空影像进行了实验,图 1(a) 为部分原始影像,图 1(b) 是采用传统的对比度线性增强处理的结果,图 1(c) 是采用直方图均衡处理的结果。图 1(d)、(e) 是对图 1(a) 进行模糊增强处理的结果,具体参数见表 1。3 种方法处理前后的模糊熵(均由式(11)求出)也列在表 1 中。

从图 1 看出,采用模糊增强方法比传统方法有更好的处理效果,表 1 中的模糊熵值也证明了

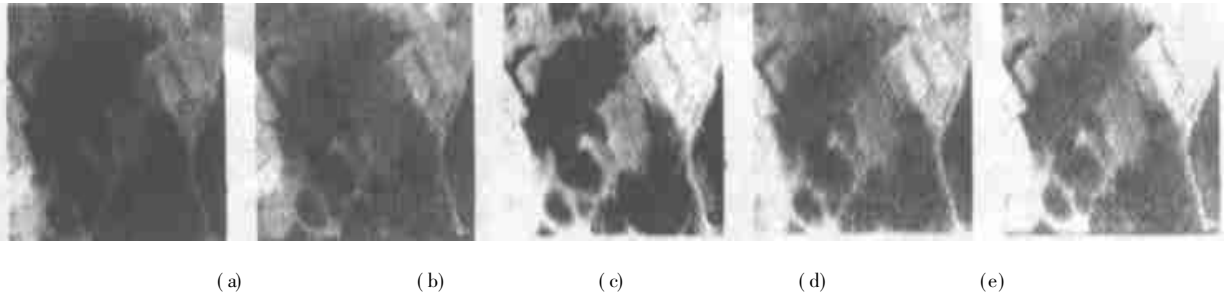


图 1 原始影像和 3 种增强的方法的处理结果

Fig. 1 Original Image and Enhancement Results of Three Methods

表 1 增强处理前后影像的模糊参数和模糊熵

Tab. 1 The Fuzzy Parameters and Entropy of Images Before and After Enhancement Processing

影像	参数			模糊熵
	X_c	F_p	U	$H(P)$
图 1 (a)	0	253	1	0.973
图 1 (b)	0	253	1	0.972
图 1 (c)	0	253	1	0.831
图 1 (d)	0	253	1	0.891
图 1 (e)	0	379.3	1.6	0.731

这一点。从图 1(d)、(e) 可见,参数 U 的增大,可明显提高模糊增强的效果。同时,实验证明,由于 X_c 的增大,地物边界线更突出,这十分有利于进行判读和量测。正是由于 X_c 的可调性,模糊增强方法实际上是一种面向问题的影像增强方法,即

根据实际问题来确定 X_c 的取值,从而达到不同的增强目的。

总之,将模糊集理论应用于航空影像的增强处理中的效果是明显的,并有很大的潜力。

参 考 文 献

- 1 郭桂蓉,庄钊文.信息处理中的模糊技术.长沙:国防科技大学出版社,1991
- 2 田村秀行.计算机图像处理技术.赫荣威译.北京:北京师范大学出版社,1988
- 3 Pal S K, King R A. Image Enhancement Using Smoothing with Fuzzy Sets. IEEE Trans. SMC, 1981 (7)
- 4 Pal S K, King R A. Image Enhancement Using Fuzzy Sets. Electron. Lett., 1980, 16 (9)

The Method of Fuzzy Enhancement for Aerial Images

Pan Li Zheng Hong Zhu Jie Xu Xin

(School of Information Engineering, W TU SM, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

Abstract Aerial images contain a lot of geographical information. They are important data sources for GIS. But, because of environment elements' affection, their contrasts are often low and illumination is not equal. So image enhancement becomes an important problem in aerial image processing. According to the gray feature of aerial images, this paper presents a method for fuzzy enhancement to improve the image contrast. The method includes the following three steps. First, the relative gray of a pixel is used as a fuzzy feature. So an image is translated into fuzzy sets. Second, a kind of fuzzy enhancement operator is used to the fuzzy sets. Through the fuzzy enhancement operator, new enhanced fuzzy sets are formed. Third, the new enhanced fuzzy sets are translated reversely into a new gray image. The gray image is the enhanced image. Experimental results show that the method of fuzzy enhancement is better than the conventional methods. In addition, the method also enhances special objects in accord with needs.

Key words aerial image; fuzzy enhancement; image processing