

一种新的红外遥感图象预处理方法

宋 常 立

(辽宁大学物理系)

摘要——本文提出了对任意一张遥感图象进行规整化预处理方法的原理。用这种方法得到的规整化图象进行计算机图象识别、图象加减等处理,可以消除遥感图象中由于取景框平移、转动以及改变比例尺和曝光量所造成的图象差异的影响。本文给出的简单模拟实验表明,这一方法是可行的。

一、引 言

拍摄遥感图象,由于所用的取景框的位置、角度不同,以及比例尺度和曝光量的变化,会得到同一目的而有一定差异的很多图象,我们谓之同的图象族。因此,在图象识别与处理中,必须设法消除同的图象族中各图象间的上述差异。根据文献报导,消除上述图象差异的方法大致可以分为图象变换方法^[1]和图象代数矩阵级数展开方法^[2]两大类。图象变换方法是对图象或图象函数进行一系列的数学变换,如傅里叶变换,直角坐标-极坐标-直角坐标变换,对数变换,梅林变换等。用这些变换方法,不仅计算量相当大,而且变换前后的图形没有直观联系。图象代数矩阵级数展开方法是用代数矩阵的序列代替图象,显然图象越复杂,要求的精度越高,需要计算的代数矩阵的阶数和项数也就越大,其计算量将成指数式地增长,而且算出的各阶代数矩阵与原始图象也没有直观联系。为此,本文提出了图象规整化方法,它既能大大地减少计算量,又能使预处理前后的图象有直观联系。

二、图象规整化方法

图象规整化预处理是从每一个具体图象的本身固有性质出发,算出该图象应作的平移矢量、旋转角度和放缩比例尺度以及平均光密度应改变的倍数,并将每个图象相对于取景框作平移、旋转、放缩比例尺度及改变平均光密度,使它们相对取景框的位置、方位、大小以及平均光密度都相同,则它们间的差异就消除了。具体方法如下:

当图象 F 放入图象扫描系统,取景框与扫描系统中某个固定方框对准的条件下,得到该幅图象光密度随象元位置 (x, y) 变化的函数,称为原始图象函数,记作 $f(x, y)$ 。首先计算下列原始图象函数的特征积分值:

$$m_{00} = \iint_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) dx dy; \quad (1)$$

$$m_{10} = \iint_{-\infty}^{+\infty} x f(x, y) dx dy; \quad (2)$$

$$m_{01} = \iint_{-\infty}^{+\infty} y f(x, y) dx dy; \quad (3)$$

$$m_{11} = \iint_{-\infty}^{+\infty} xy f(x, y) dx dy; \quad (4)$$

$$m_{20} = \iint_{-\infty}^{+\infty} x^2 f(x, y) dx dy; \quad (5)$$

$$m_{02} = \iint_{-\infty}^{+\infty} y^2 f(x, y) dx dy. \quad (6)$$

上面各积分式实际只包括图象区域, 因为图象以外的区域光密度为零。由于光密度是有界的, 因此这些积分是存在的。

规整化的第二步是利用原始图象函数的特征积分值, 计算下列图象规整化参数:

$$\bar{x} = m_{10}/m_{00}; \quad (7)$$

$$\bar{y} = m_{01}/m_{00}; \quad (8)$$

$$\gamma = \{(m_{00}m_{20} + m_{00}m_{02} - m_{10}^2 - m_{01}^2)/m_{00}^2\}^{-\frac{1}{2}}; \quad (9)$$

$$\varphi_1 = \frac{1}{2} \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{2(m_{00}m_{11} - m_{10}m_{01})}{m_{00}(m_{20} - m_{02}) - m_{10}^2 + m_{01}^2} \right);$$

$$m_{20}^* = (m_{20} - \bar{x}^2 m_{00}) \cos^2 \varphi_1 + (m_{02} - \bar{y}^2 m_{00}) \sin^2 \varphi_1 + (m_{11} - \bar{x}\bar{y}m_{00}) \sin \varphi_1 \cos \varphi_1;$$

$$m_{02}^* = (m_{20} - \bar{x}^2 m_{00}) \sin^2 \varphi_1 + (m_{02} - \bar{y}^2 m_{00}) \cos^2 \varphi_1 - (m_{11} - \bar{x}\bar{y}m_{00}) \sin \varphi_1 \cos \varphi_1.$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{当 } m_{20}^* > m_{02}^* \text{ 时, } \varphi = \varphi_1 + \frac{\pi}{2}; \\ \text{当 } m_{20}^* < m_{02}^* \text{ 时, } \varphi = \varphi_1. \end{array} \right\} \quad (10)$$

规整化的第三步是利用上述规整化参数, 求出规整化图象函数。方法是将原始图象函数 $f(x, y)$ 乘以因子 $(m_{00}\gamma^2)^{-1}$ 后, 再将其坐标 (x, y) 作下述变换:

$$\left. \begin{array}{l} x = (X \cos \varphi - Y \sin \varphi) / \gamma + \bar{x}; \\ y = (X \sin \varphi + Y \cos \varphi) / \gamma + \bar{y}. \end{array} \right\} \quad (11)$$

这样, 规整化图象函数 $F(X, Y)$ 与原始图象函数 $f(x, y)$ 有下述关系:

$$F(X, Y) = \frac{1}{m_{00}\gamma^2} f[(X \cos \varphi - Y \sin \varphi) / \gamma + \bar{x}, (X \sin \varphi + Y \cos \varphi) / \gamma + \bar{y}]. \quad (12)$$

规整化的第四步是按 (X, Y) 坐标作出式(12)的图象, 即原始图象的规整化图象。

从上述规整化过程可以看到, 图象规整化实际上是把描述原始图象函数的坐标系, 作了 (\bar{x}, \bar{y}) 的平移, 旋转了一个 φ 角, 且把座标的分度放大 γ 倍, 把所有的象元光密增大了 $(m_{00}\gamma^2)^{-1}$ 倍。由于图象的规整化仅仅是坐标变换, 因此规整化处理前后的图象必然有完全相似的直观联系。从计算工作量来看, 只是第一步的六个特征积分量大一些, 不过采用适当

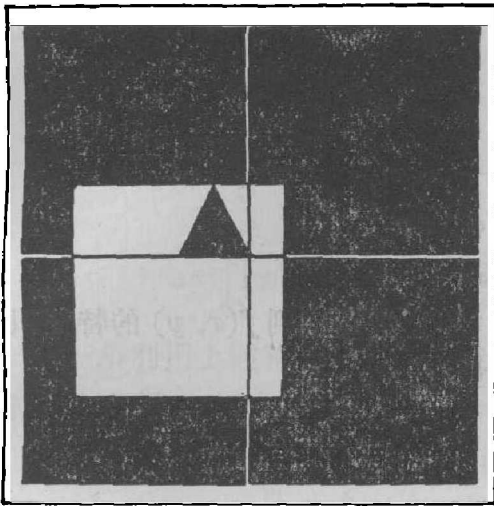


图1 原始图象

Fig. 1 The original pattern

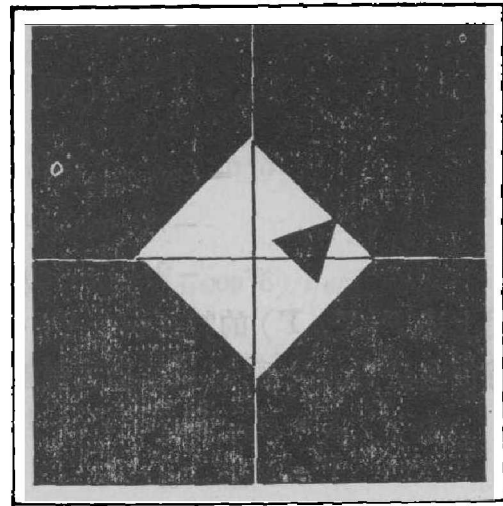


图2 原始图象的规整化图象

Fig. 2 The normalization pattern of the original pattern

的技巧,可在一次积分运算中同时完成,这就大大减少了计算量。

图1为原始图象,图中底边和高都为1单位的等腰三角形,各点的透过率(即图象函数的取值)为零;边长为3单位的正方形内的其它各点的透过率为1单位。图2为原始图象归整化图象。比较图1和图2可以看出,两者除了旋转 -0.76 rad 、缩小了0.81倍、透明部分的透过率由1减少到0.18外,其它是完全相似的。

三、规整化图象函数再规整化不变

设原始图象函数为 $f(x, y)$,按第二节方法得到的规整化图象函数为 $F(X, Y)$ 。将 $F(X, Y)$ 函数按第二节方法再规整化后,得到的再规整化图象函数为 $F'((X', Y'))$ 。将 $F(X, Y)$ 代入式(1)~(6),并考虑到 $F(X, Y)$ 与 $f(x, y)$ 的关系式(12)后,可得到再规整化的特征积分值为

$$\begin{aligned}
 M_{00} &= \iint_{-\infty}^{+\infty} F(X, Y) dX dY = 1; \\
 M_{10} &= \iint_{-\infty}^{+\infty} X F(X, Y) dX dY = 0; \\
 M_{01} &= \iint_{-\infty}^{+\infty} Y F(X, Y) dX dY = 0; \\
 M_{11} &= \iint_{-\infty}^{+\infty} XY F(X, Y) dX dY = 0; \\
 M_{20} &= \iint_{-\infty}^{+\infty} X^2 F(X, Y) dX dY \\
 &= (m_{10}m_{20} \cos^2 \varphi - m_{10}^2 \cos^2 \varphi + m_{00}m_{02} \sin^2 \varphi \\
 &\quad - m_{01}^2 \sin^2 \varphi - 2m_{00}m_{11} \sin \varphi \cos \varphi
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 2m_{01}m_{10} \sin \varphi \cos \varphi) / m_{00}^2 \gamma^2; \\
M_{02} &= \iint_{-\infty}^{+\infty} Y^2 F(X, Y) dX dY \\
&= (m_{00}m_{20} \sin^2 \varphi - m_{10}^2 \sin^2 \varphi + m_{00}m_{02} \cos^2 \varphi \\
&\quad - m_{01}^2 \cos^2 \varphi + 2m_{00}m_{11} \sin \varphi \cos \varphi \\
&\quad - 2m_{01}m_{10} \sin \varphi \cos \varphi) / m_{00}^2 \gamma^2.
\end{aligned}$$

利用上述 $F(X, Y)$ 的特征积分值, 代入式 (7) ~ (10), 并考虑到 $f(x, y)$ 的特征积分值 m 与特征参量间的关系, 可以算出再规整化的特征参量为

$$\begin{aligned}
\bar{X} &= M_{10} / M_{00} = 0; \\
\bar{Y} &= M_{01} / M_{00} = 0; \\
\Gamma &= \{(M_{00}M_{20} + M_{00}M_{02} - M_{10}^2 - M_{01}^2) / M_{00}^2\}^{-\frac{1}{2}} = 1; \\
\Phi_1 &= \frac{1}{2} \operatorname{tg}^{-1} \left\{ \frac{2(M_{00}M_{11} - M_{10}M_{01})}{M_{00}(M_{20} - M_{02}) - M_{10}^2 + M_{01}^2} \right\} = 0; \\
\Phi &= 0.
\end{aligned}$$

将上述再规整化参数代入式(12), 就可得到再规整化图象函数 $F'(X', Y')$ 为

$$\begin{aligned}
F'(X', Y') &= \frac{1}{M_{00}\Gamma^2} F[(X' \cos \Phi - Y' \sin \Phi) / \Gamma + \bar{X}, (X' \sin \Phi + Y' \cos \Phi) / \Gamma + \bar{Y}] \\
&= F(X', Y').
\end{aligned}$$

从上式可以看出, 任意一个图象函数的规整化图象函数的再规整化 保持不变。由此得出: 任意一个图象函数有一个, 而且只有一个规整化图象函数。相应地任意一个图象也有一个, 而且也只有有一个规整化图象。

四、两个同的图象函数的规整化图象函数相同

设一个已归整化的图象函数为 $F(X, Y)$, 另一个与 $F(X, Y)$ 同的的图象函数为 $f'(x', y')$, 即拍摄与 $f'(x', y')$ 相对应的图象比拍摄与 $F(X, Y)$ 对应的图象所采用的曝光量减少 c 倍, 放大率增加 k 倍, 取景框转动了 δ 角度, 位置平移了 (a, b) 。 $f'(x', y')$ 与 $F(X, Y)$ 之间有以下的关系:

$$f'(x', y') = cF\{k(x' - a) \cos \delta + k(y' - b) \sin \delta, -k(x' - a) \sin \delta + k(y' - b) \cos \delta\}. \quad (13)$$

按第二节所述的方法求 $f'(x', y')$ 的规整化图象函数 $F'(X', Y')$, 并用带“'”的相应字符表示规整化时的特征积分值和特征参量。将 $f'(x', y')$ 代入式(1) ~ (6), 并注意到式(12)和积分换元变化以及规整化函数 $F(X, Y)$ 的性质, 得到 $f'(x', y')$ 的特征积分值为

$$\begin{aligned}
m'_{00} &= \iint_{-\infty}^{+\infty} f'(x', y') dx' dy' = c/k^2; \\
m'_{10} &= \iint_{-\infty}^{+\infty} x' f'(x', y') dx' dy' = ca/k^2; \\
m'_{01} &= \iint_{-\infty}^{+\infty} y' f'(x', y') dx' dy' = cb/k^2;
\end{aligned}$$

$$m'_{11} = \iint_{-\infty}^{+\infty} x'y'f'(x', y')dx'dy' = ck^{-4}(M_{20} - M_{02}) \sin \delta \cos \delta + cabk^{-2};$$

$$m'_{20} = \iint_{-\infty}^{+\infty} x'^2f'(x', y')dx'dy' = ck^{-4}(M_{20} \cos^2 \delta + M_{02} \sin^2 \delta) + ca^2k^{-2},$$

$$m'_{02} = \iint_{-\infty}^{+\infty} y'^2f'(x', y')dx'dy' = ck^{-4}(M_{20} \sin^2 \delta + M_{02} \cos^2 \delta) + cb^2k^{-2}.$$

进一步利用上述特征积分值和规整化图象函数 $F(X, Y)$ 的特征积分值的性质与特征参量的公式(7)~(10), 可以算得 $f'(x', y')$ 的规整化参数为

$$\bar{x}' = m'_{10}/m'_{00} = a;$$

$$\bar{y}' = m'_{01}/m'_{00} = b;$$

$$\gamma' = \{(m'_{00}m'_{20} + m'_{00}m'_{02} - m'_{10}{}^2 - m'_{01}{}^2)/m'_{00}{}^2\}^{-\frac{1}{2}} = k;$$

$$\varphi' = \frac{1}{2} \operatorname{tg}^{-1} \left\{ \frac{2(m'_{00}m'_{11} - m'_{10}m'_{01})}{m'_{00}(m'_{20} - m'_{02}) - m'_{10}{}^2 + m'_{01}{}^2} \right\} = \delta;$$

$$\varphi' = \delta.$$

根据式(12), $F'(X', Y')$ 与 $f'(x', y')$ 关系为

$$F'(X', Y') = e^{-1}f' \{ (X' \cos \delta + Y' \sin \delta)/(k+a), (X' \sin \delta + Y' \cos \delta)/(k+b) \}.$$

再将式(13)代入上式得

$$F'(X', Y') = F \{ k[(X' \cos \delta - Y' \sin \delta)/(k+a) - a] \cos \delta$$

$$+ k[(X' \sin \delta + Y' \cos \delta)/(k+b) - b] \sin \delta,$$

$$- k[(X' \cos \delta - Y' \sin \delta)/(k+a) - a] \sin \delta$$

$$+ k[(X' \sin \delta + Y' \cos \delta)/(k+b) - b] \cos \delta \}$$

$$= F(X', Y').$$

故证明了同的图象函数族中的任意两个图象函数, 或两个同的图象函数有共同的规整化图象函数。

由此得到: 一个同的图象族(或相应的图象函数族), 有而且仅有一个规整化图象(或相应的规整化图象函数), 也即同的图象族的规整化图象是唯一存在的。

五、图象规整化预处理应用实例

图3为与图1同一目的物图象, 与图1相比其取景框平移了(3.2, 1.13)单位; 旋转了-1.047 rad; 放加率增加了3倍, 其它条件不变, 显然这两幅图象是有差异的。按第二节的方法, 将图3规整化时, 所得的规整化图象也是图2, 证明前面理论是正确的。

显然, 各个不同目的物的图象有各自不同的规整化图象, 如将图1中的矩形的高和等腰三角形的底和高都增长0.5单位, 所得到的图4对应着与图1不同的目的物。它的规整化图象如图5所示。它与图1的规整化图象图2是有区别的, 这也说明, 图象规整化是不会把不同目的物的图象规整化为同一图象的。

因此, 使用本文提供的图象规整化的预处理方法, 可将任意两个待识图象进行图象规整化的预处理, 分别找出各自的规整化图象函数(或相应的规整化图象), 然后用计算机(或光

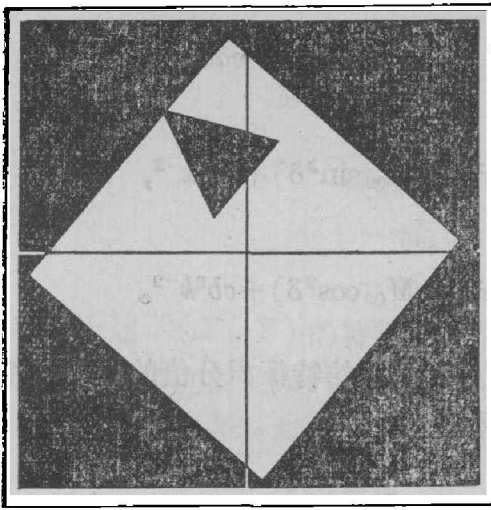


图3 与图1同一目的物的图象
Fig. 3 The contarget pattern
with fig. 1

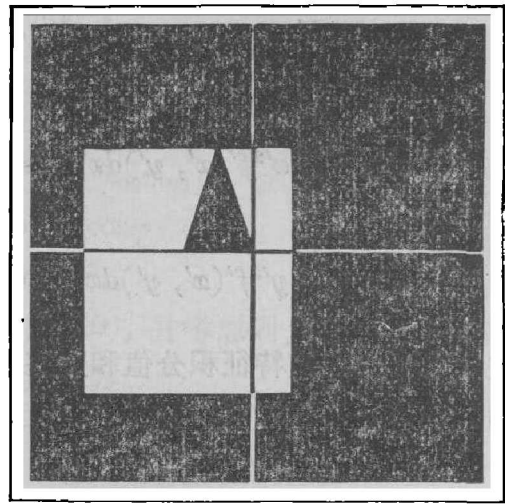


图4 与图1不同的另一目标的图象
Fig. 4 The original pattern of another target
different from the target of fig. 1

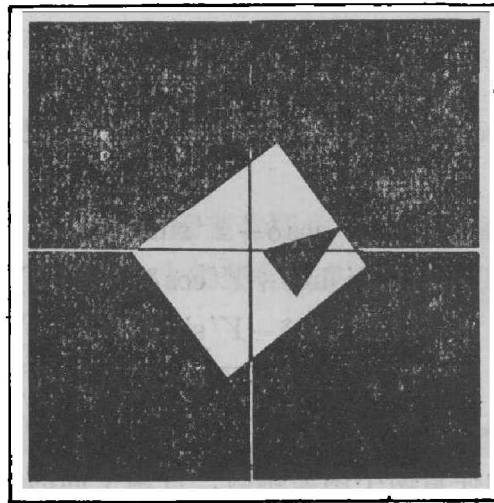


图5 图4的规整化图象
Fig. 5 The normalization pattern of fig. 4

学方法)将两个规整化图象函数(或规整化图象)简单地相减,就可以判断出不同的两个图象是否反映同一目的物。

致谢——周庆纲同志帮助作了一些计算,借此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] Casasent, D. and Psaltis, D. *IEEE Proc.*, **65**(1977), 1: 77.
- [2] Casasent, D., *Applied Opt.*, **15**(1976), 7: 1795.

A NEW PRETREATMENT METHOD FOR IR REMOTE SENSING

SONG CHANGLI

(Department of Physics, Liaoning University)

ABSTRACT

A new pretreatment method for IR remote sensing, the pattern normalization, is presented. It dispels the influence of difference between the target image and unknown image of the same target due to translation, rotation of scene-frame and change of scale and exposure. The analogous calculation result shows that the above method is indeed applicable.