



# 一种抗旋转的频域相关算法<sup>1)</sup>

徐捷 张桂林 郑云慧

(华中理工大学图象识别与人工智能研究所 武汉 430074)

(图像信息处理与智能控制国家教委开放实验室 武汉 430074)

**关键词** 旋转校正, 频域匹配, 图象加权, 滤波

## 1 引言

由于采用以相位相关为代表的频域图象配准技术获得的相关峰尖锐突出, 匹配精度高, 对图象灰度依赖小, 在七十年代后期, 在导弹精确制导等领域获得广泛的应用. 但该类算法对旋转变化的几何失真较敏感<sup>[1]</sup>. 经低通滤波的频域相关法虽可减小几何失真及噪声对匹配的影响, 但精度会相应降低<sup>[2]</sup>. 而在用直角坐标相位相关解决图象平移后, 虽然可再用极坐标相位相关解决图象旋转变化问题<sup>[1]</sup>, 但无疑大大增加了算法的复杂程度和运算量. 本文直接利用直角坐标相位相关的中间结果进行旋转校正, 快捷准确, 它与相位相关算法紧密结合, 形成了一种抗旋转的频域相关算法.

## 2 旋转校正方法

频域相关技术虽然有相关峰尖锐突出、精度高、抗噪、对局部灰度变化不敏感等优点, 但它对图象旋转变化的几何失真比较敏感. 实验证明, 对于中等分辨率的航空照片, 图象旋转大于 $5^\circ$ 时, 其相关信噪比衰减为零<sup>[1]</sup>. 采用经低通滤波的频域相关算法虽可明显减小几何失真及噪声对匹配的影响, 但精度会相应降低<sup>[2]</sup>. 要获得更高的匹配率和匹配精度, 应进行图象旋转的校正. 为使整个频域相关法简洁明了, 采用频域匹配的中间结果即图象的功率谱来求旋转角, 根据付氏变换的平移不变性, 当两幅图象仅存在平移和旋转变化时, 两者的功率谱只反映了它们的旋转差别. 这样, 将其中一幅图的功率谱旋转 $\theta$ 角后再与另一幅图的功率谱相减, 差值为零时所对应的 $\theta$ 角即为要校正的角. 由于实际应用中两幅图象还存在其它差别, 故只要选两功率谱差值最小时所对应的旋转角即可. 具体的图象旋转校正方法如下: 设图象旋转变化角 $\theta$ 范围为 $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$ , 根据旋转校正精度的具体要求, 确定 $\theta$ 角改变的步长为 $\Delta\theta$ . 则有 $\theta_i = \theta_{\min} + i * \Delta\theta$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ). 其中 $n = (\theta_{\max} - \theta_{\min}) / \Delta\theta$ . 则有

1) 航天技术研究基金资助项目.



$$D(\theta_i) = \sum_u \sum_v |R(u, v) - S_{\theta_i}(u, v)| \quad (1)$$

其中  $R(u, v)$  为参考图  $r(x, y)$  的功率谱,  $S_{\theta_i}(u, v)$  为实测图  $s(x, y)$  的功率谱  $S(u, v)$  相对于其中心旋转  $\theta_i$  角后得到的新的功率谱. 则满足  $D(\phi) = \min\{D(\theta_i)\}$  的角  $\phi$  即为所求的旋转角. 频域相关法对图象旋转敏感, 反过来说明了相关峰尖锐程度能明显反映出两图象间的旋转差别是否严重. 利用这一点, 为提高旋转校正率, 可将旋转角的计算方法改进为: 选  $D$  值最小的几个角作为候选旋转角, 从  $D$  值最小的角开始, 求按该角校正后的频域相关结果, 一旦其频域相关信噪比大于某门限时, 即说明旋转校正正确, 其结果也就是所求的匹配结果.

加入旋转角筛选这一步后, 旋转校正率虽有了很大提高, 但仍存在一定的旋转角求取错误问题. 出错原因无有两个: 一、选出的候选角中没有正确的旋转角. 二、虽已按求得的较正确的旋转角作了校正, 但其相关结果的信噪比却不是最大. 为克服第一个原因造成的角度校正错误, 应增强由旋转带来的两频谱的差别而抑制其它因素造成的频谱差别, 故考虑在两幅图象的付氏频谱旋转相减前, 先对两幅频谱作滤波处理. 由于不仅旋转变换, 噪声和模糊等也对频谱高频影响大, 故选用带通滤波器.

$$G(x, y) = \sigma * \exp(-0.5 * \sigma^2 * (r - \mu)^2), \quad (2)$$

其中参数  $\sigma$  控制带宽,  $\mu$  用于决定滤波带的位置, 设图象大小为  $L * L$ , 则频谱中心位于

$$(L * 0.5, L * 0.5), r = \sqrt{(x - L * 0.5)^2 + (y - L * 0.5)^2}.$$

为了克服第二种原因引起的误匹配, 应尽力减小除旋转外其它因素带来的两图象间的差别. 理论上, 付氏变换中的积分上下限应为无限的, 但实际上图象函数只在一有限矩形中才是已知的, 故当两图象间有相对位移时, 两图象的内容就不会完全一样, 这种差别有时会对频域匹配产生不容忽视的影响, 而进行图象加权有助于减小位移带来的图象差别<sup>[4]</sup>. 为使问题简化, 下面仅讨论一维连续的情况, 其结果很容易推广到二维离散情况, 设  $f(t)$  为一维信号,  $t \in [-\infty, +\infty]$ ,  $w(t)$  为加权函数, 它在  $[-L/2, L/2]$  以外为零, 经加权处理后应尽量减少因有限的信号函数边界带来的误差, 这和选  $w(t)$  使下式的  $R$  值最小相一致<sup>[4]</sup>:

$$R = \frac{\int_{-(L/2)+t_0}^{(L/2)-t_0} [w(t) - w(t - t_0)]^2 dt + \int_{(L/2)-t_0}^{L/2} w^2(t) dt + \int_{-(L/2)}^{-(L/2)+t_0} w^2(t) dt}{\int_{-(L/2)+t_0}^{(L/2)-t_0} w^2(t) dt}, \quad (3)$$

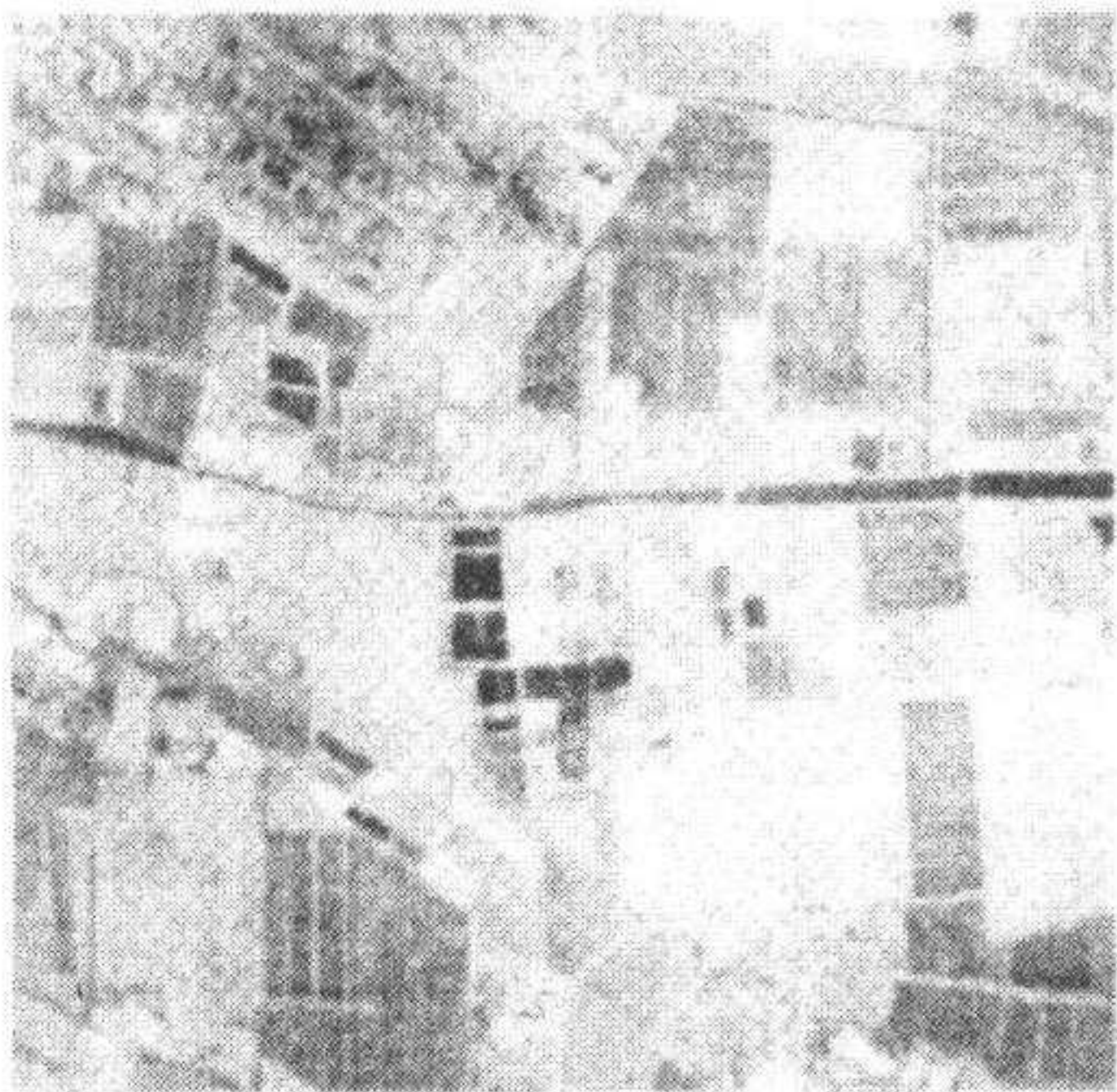
这里  $t_0$  代表位移量. 文献[4]中用了两种加权函数, 形如  $\exp[-(\alpha/L) * (|x| + |y|)]$  的指数函数和具有旋转对称性质的形如  $\exp[-(\alpha/L)^2 * (x^2 + y^2)]$  的高斯函数, 而后者比前者的效果略好一些, 故采用第二种加权函数. 由于旋转校正难免存在误差, 在相位相关匹配中, 进行适当的去高频处理, 以抑制旋转校正误差和噪声干扰<sup>[2]</sup>.

### 3 实验结果与结论

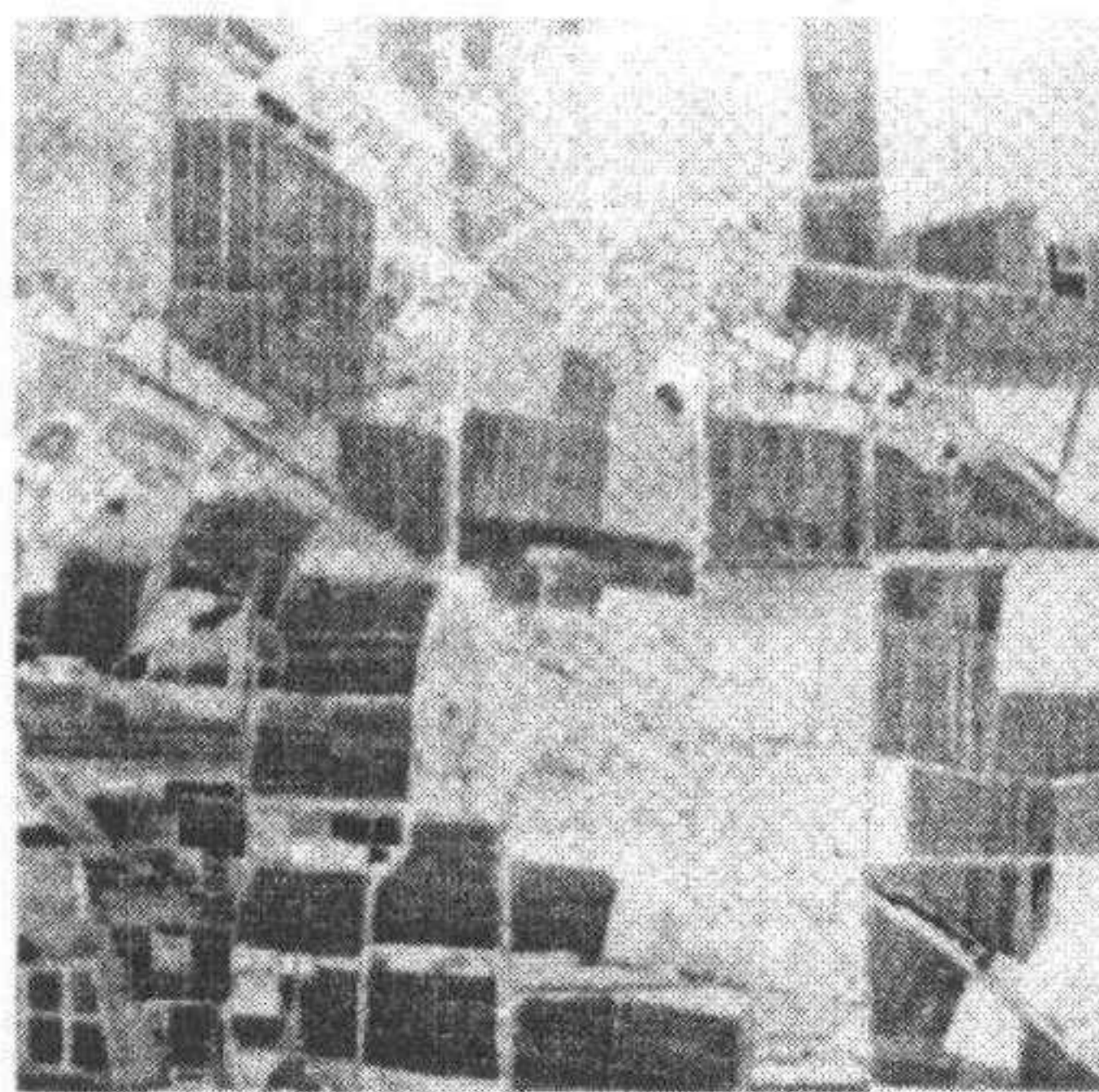
图1, 2, 3中的  $a$  图是三幅  $256 * 256$  象素大小的航片,  $b$  图是对应的模拟卫片, 它们分别在对应的航片上做了一定的旋转, 局部灰度变化、随机噪声干扰和图像模糊等处理. 每一对卫片和航片产生100对  $64 * 64$  象素大小的参考图和实测图, 按本文所述旋转角求取方法进行旋转校正后再用相位相关法进行图象配准. 实验结果表明每对大图的匹配率都在



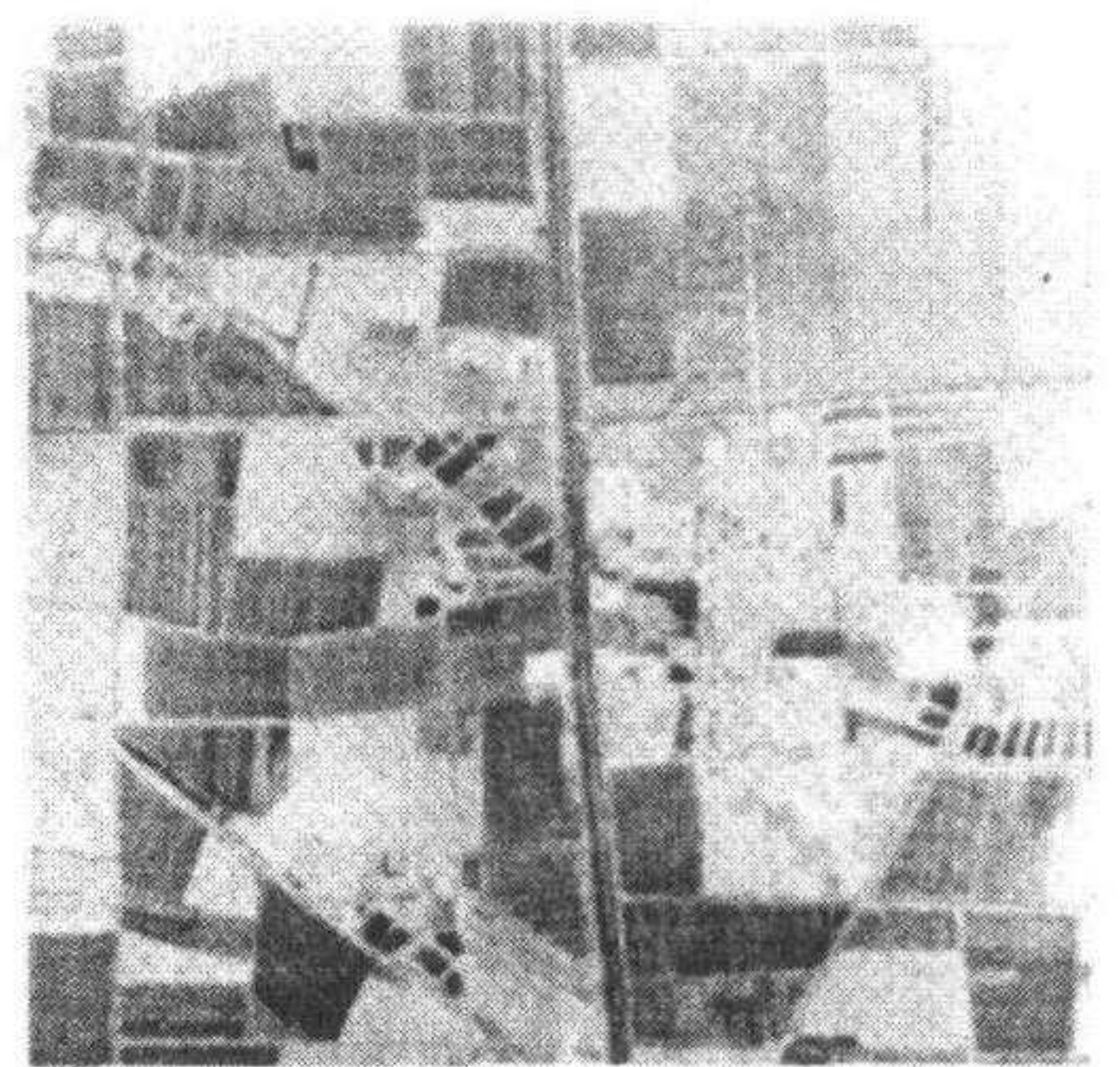
95%以上.说明了采用经图象加权、选择候选校正角及图象滤波这三种处理后的频谱旋转相减法求旋转角的正确率是足够高的.它比用极坐标相位相关法克服旋转变化的简便快捷得多,而又不象低通滤波相位相关法那样要降低匹配精度.



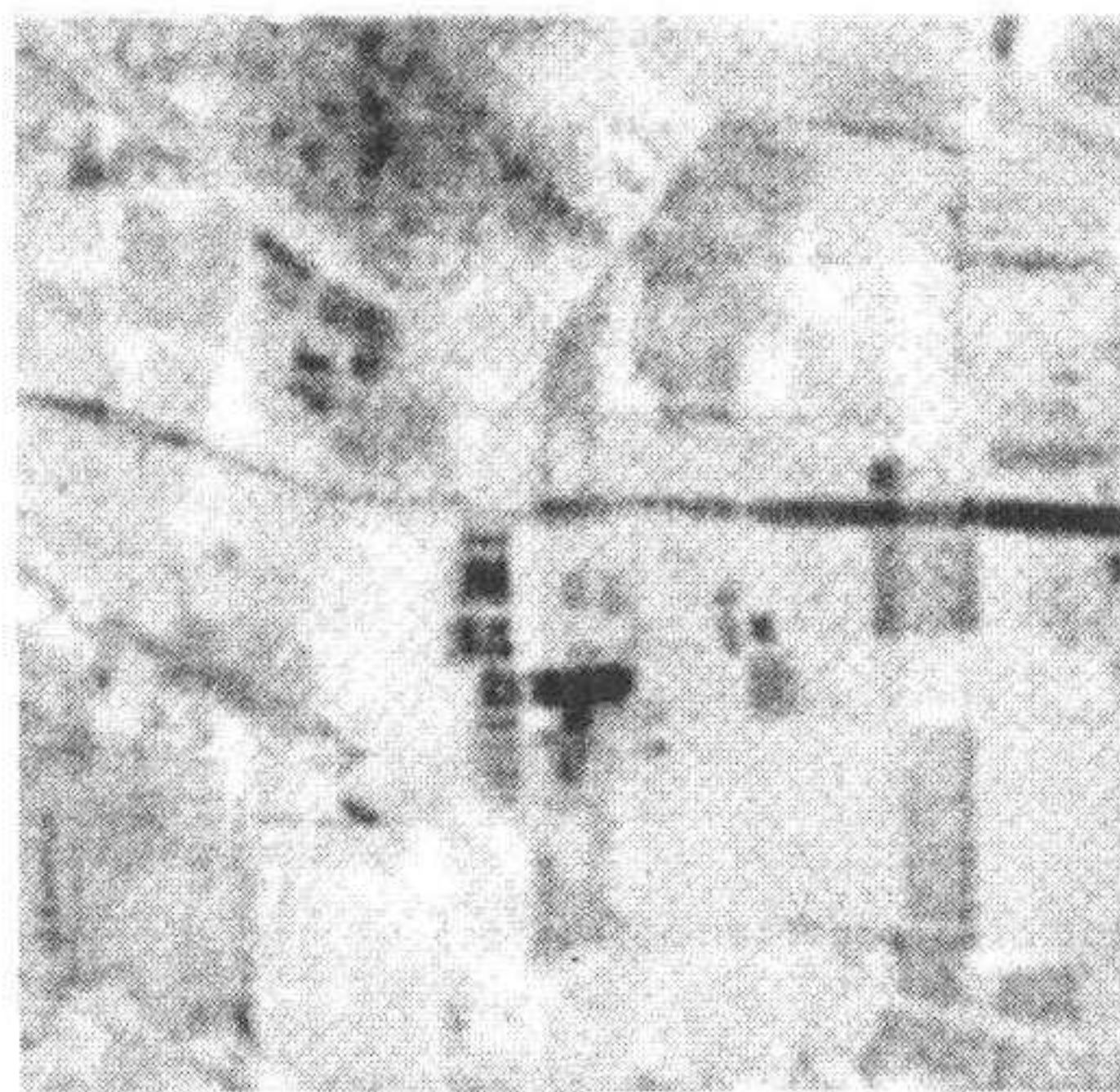
a



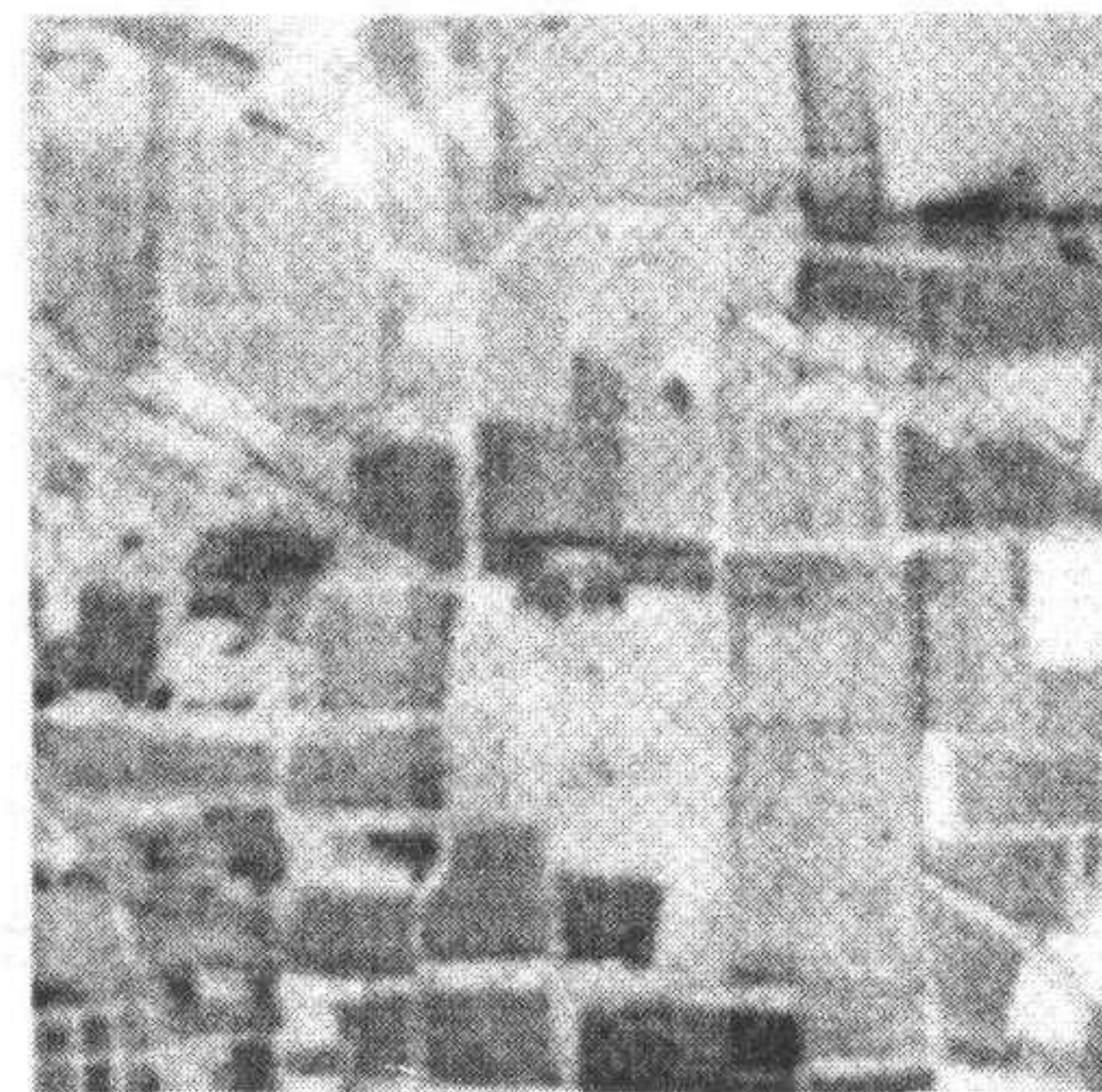
a



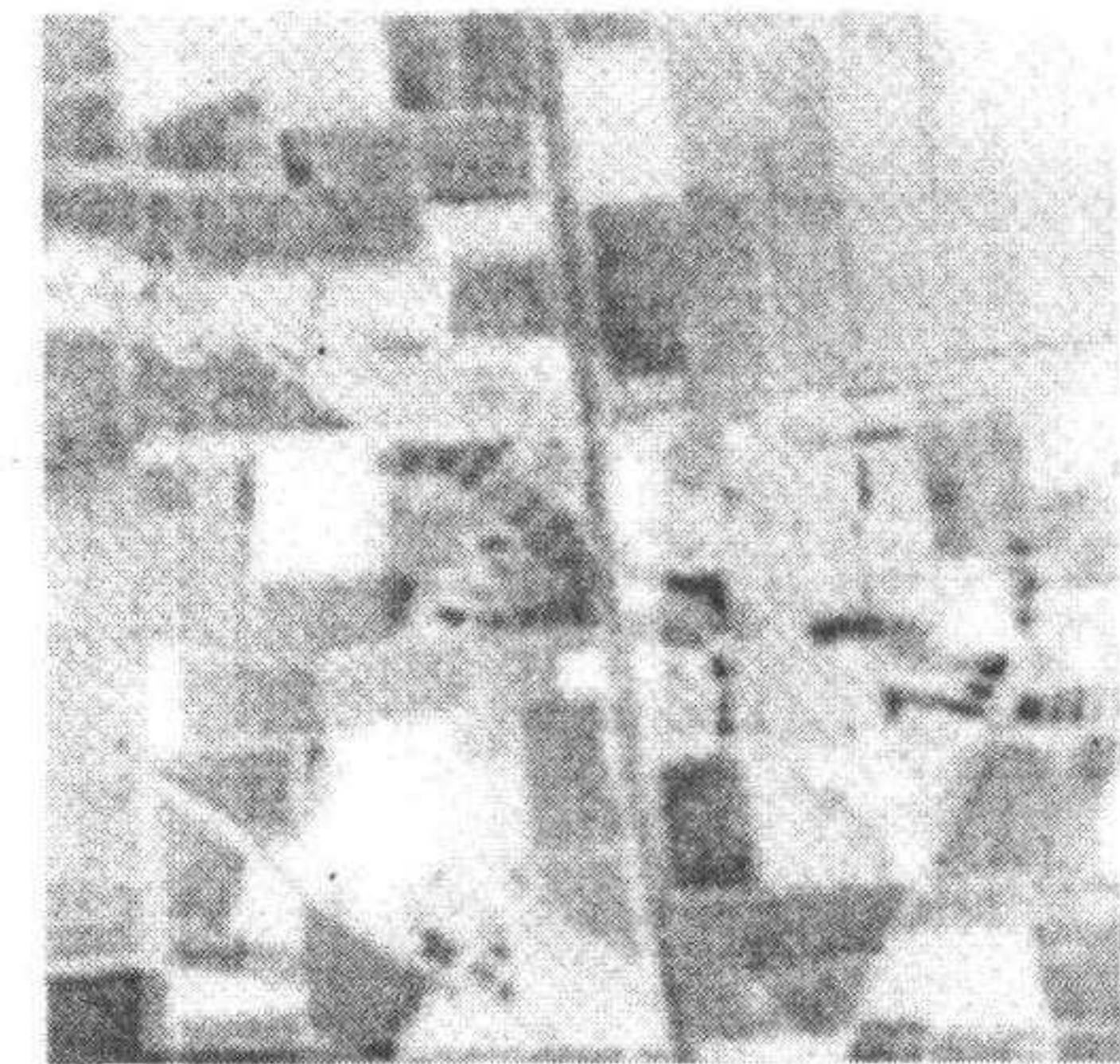
a



b



b



b

图1

图2

图3

### 参 考 文 献

- 1 张肇群. 光电信息处理导论. 武汉: 华中理工大学出版社, 1992, 102—107
- 2 Kuglin C D, Blumenthal A F, Pearson j j. Map-matching techniques for terminal guidance using fourier phase information. *SPIE*, 1979, **186**: 21—29
- 3 Dah Jye Lee, Thomas F Krille, Sunanda Mltra. Power cepstrum and spectrum techniques applied to image registration. *Applied Optics*, 1988, **27**(6): 1099—1106
- 4 Stefano Alliney, Carlo Morandi. Digital image registration using projections. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Matching Intell.*, 1986, *PAMI-8*(2): 222—223

## A ROTATION INVARIANT IMAGE REGISTRATION ALGORITHM IN FREQUENCY DOMAIN

XU JIE ZHANG GUILIN ZHENG YUNHUI

(Institute of Image Recognition and Artificial Intelligence, Huazhong University  
of Science and Technology, Wuhan 430074)

**Key words** Rotation correction, correlation in frequency domain, image weighting, filter