

# 基于假设检验技术的匹配可信度分析方法

桑农 张天序

(华中理工大学图像识别与人工智能研究所 武汉 430074)

**摘要** 匹配可信度是分析图像匹配质量的主要指标. 以数理统计中的假设检验方法为手段, 以相似性度量值为检验用统计量, 确定在一定的检验显著性水平下图像匹配可信度的假设检验结果. 针对大量实际图像的实验结果证实了该方法在确定图像匹配可信度方面的有效性.

**关键词** 图像匹配, 匹配可信度, 假设检验.

## MATCHING CONFIDENCE ANALYSIS METHOD BASED ON TESTS OF HYPOTHESES

SANG Nong ZHANG Tianxu

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

**Abstract** Matching confidence is an important element for evaluating image matching quality. In this paper, a method is presented which uses the technique of tests of hypotheses to determine image matching confidence under a certain testing level. Here, we use similarity measurement values to be the statistics. Experimental results with large real images prove the effectiveness of the method to determine image matching confidence.

**Key words** Image matching, matching reliability, hypothesis test.

## 1 引言

在双眼立体视觉及遥感图像匹配中, 采用图像匹配技术寻找左图中某一点在右图中的对应点, 以确定两图间的视差, 从而确定该点的深度并实现立体重建. 在飞行器自动导航中, 则采用景像匹配技术获得飞行器的偏航信息, 并将该偏航信息输出给飞行器控制系统, 引导飞行器回到正确的航向上. 精确确定深度并实现立体重建的关键在于获得正确的匹配结果, 否则将严重影响测得深度信息的准确性及立体重建的效果. 同样, 景像匹配制

导方案实现有效制导的基础也在于匹配的正确性,因为错误的匹配结果将给出错误的导航修正,很可能促使飞行器更加偏离正确的航线.在这种情况下,不进行导航修正才是更为可取的一种策略.如何在无人干预的情况下,让系统自动确定匹配结果正确与否,这就需要对匹配可信度进行分析,给出其分析的方法与准则.

在获取图像的过程中,成像传感器载体的运动方式及姿态(如飞行器的飞行姿态、高度、航迹、航速、航向)等参数都会发生随机变化,产生随机误差.成像传感器和电子系统本身固有的噪声或误差,以及探测对象和条件的随机变化也会产生随机误差.所有这些误差源并不都是可控制的,这样,使得匹配性能可能产生系统原来预测不到的恶化,破坏图像匹配系统正常工作的条件.所以,我们必须利用匹配过程中所产生的信息以及某些先验信息,对匹配质量进行检测.

本文以数理统计中的假设检验方法为手段<sup>[1,2]</sup>,以相似性度量值为检验用统计量,确定在一定的检验显著性水平下图像匹配可信度的假设检验结果.

## 2 统计推断

各种匹配准则和算法的核心均是以获得一个准则或多个准则复合的最优值作为正确匹配的根据.匹配运算结束后,通常作如下判断:

正确匹配位置为 $(\hat{x}, \hat{y})$ ,它满足式 $\hat{M}(\hat{x}, \hat{y} | w) = \text{OPT}_{(x,y) \in \Omega} (M(x, y | w))$ ,其中 $M(\cdot)$ 为某匹配准则,OPT 为寻优算子, $w$ 为实时图, $\Omega$ 为搜索区, $(\hat{x}, \hat{y})$ 为搜索区中某匹配位置.然而这个判断是否可信?普通的匹配算法没有对此进行必要的检验.

匹配是在参考图的位置集合中进行搜索,匹配度量是本身亦是大量像素点对相似性(特征的或灰度的)测度的统计量,误差源性质亦是随机的,故本质上匹配可信度是一个统计推断问题或假设检验问题.我们将前述判断——正确匹配位置 $(\hat{x}, \hat{y})$ 称为假设,对其要进行假设检验,以决定是接受还是拒绝.但是,当我们决定接受一个假设时,并不是肯定它是正确的;而当我们拒绝一个假设时,也并不是肯定它是错误的.

## 3 检验准则与分析方法

统计假设的形式和内容是多种多样的,且对同一假设也可以有不同的检验准则和方法.可根据不同的准则决定接受或不接受假设的结论.这里,主要考虑剔除可能发生错误匹配的事件.

假设 $H_0$ 是本次匹配的正确匹配位置为 $(\hat{x}, \hat{y})$ .

### 3.1 相关度量准则

匹配准则有多种,主要可分为两类:一是相似性度量准则,在此种准则下,相似性度量值最大点处即为匹配定位位置;二是距离度量准则,在此种准则下,距离度量值最小点处即为匹配定位位置.本文采用了归一化边缘强度互相关相似性度量准则.其定义如下<sup>[3-5]</sup>:

设参考图的边缘强度图像为 $E_r$ ,其大小为 $M_r \times N_r$ ,实时图的边缘强度图为 $E_s$ ,其大小为 $M_s \times N_s$ ,且 $M_s < M_r, N_s < N_r$ .则参考图的边缘强度图中以 $(u, v)$ 为左上角、大小为 $M_s$

$\times N_s$  的子图  $E_r(u, v)$  与实时图的边缘强度图  $E_s$  间的归一化互相关度量  $\rho(u, v)$  为

$$\rho(u, v) = \frac{\sum_{i=1}^{M_s} \sum_{j=1}^{N_s} E_r(i + u, j + v) \times E_s(i, j)}{\left( \sum_{i=1}^{M_s} \sum_{j=1}^{N_s} E_r^2(i + u, j + v) \right)^{1/2} \left( \sum_{i=1}^{M_s} \sum_{j=1}^{N_s} E_s^2(i, j) \right)^{1/2}}, \quad (1)$$

这里图像的边缘强度图由 Sobel 算子求得.

### 3.2 分析方法

一般可根据实际相关度量样本值  $\rho$  与正确匹配相关度量理论值  $\rho_0$  的差异是否显著来决定. 若差异大到某一拟定的标准, 则可认为假设与样本值符合程度太低, 而舍弃假设; 反之, 若差异未大到所拟定标准, 则认为这个差异是由抽样误差所至, 故而接受假设. 差异是否显著是相对一定的概率标准而言的.

匹配相关度量  $\rho$  是一个随机变量. 令在搜索区中任一正确匹配点处, 在某一噪声条件下, 相关度量  $\rho$  的概率分布密度函数为  $p(\rho)$ , 其均值为  $\bar{\rho}$ , 标准差为  $\sigma_\rho$ . 不失一般性, 假设  $p(\rho)$  为正态分布, 则  $\lambda = \frac{\rho - \bar{\rho}}{\sigma_\rho}$  为服从标准正态分布的随机变量, 且匹配可信度的假设检验问题可归结如下:

若在某次匹配实验中, 所获最佳匹配度量是  $\rho_1$ , 令  $\rho_1$  与  $\bar{\rho}$  的差异为  $\Delta\rho = \frac{\rho_1 - \bar{\rho}}{\sigma_\rho}$ , 选定一个小概率  $\alpha = 0.01$ , 或  $0.05$  或  $0.10$ , 若  $P\{\lambda < \Delta\rho\} < \alpha$ , 即  $\Delta\rho < u_\alpha$ , 则舍弃假设; 反之若  $P\{\lambda < \Delta\rho\} \geq \alpha$ , 即  $\Delta\rho \geq u_\alpha$ , 则接受假设. 如图1所示,  $\rho_2 < \rho < 1.0$  为置信区间,  $0 < \rho < \rho_2$  为舍弃区间, 这里  $\rho_2 = \sigma_\rho u_\alpha + \bar{\rho}$ ,  $1 - \alpha$  叫区间  $(\rho_2, 1)$  的置信系数或置信概率, 显然置信概率愈高, 匹配可信度愈大.

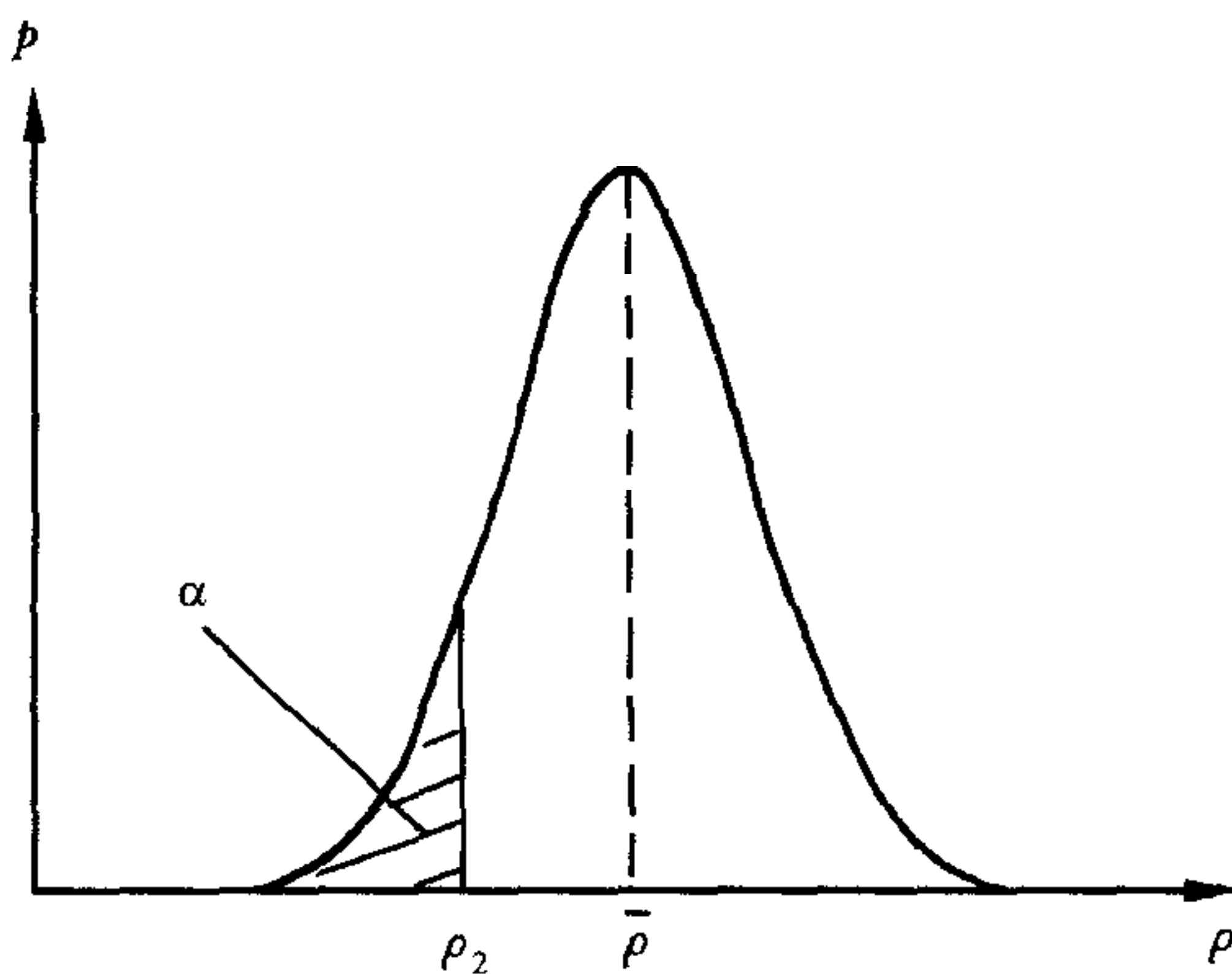


图1 假设检验方法示意图

显著度  $\alpha$  上,  $\rho_1$  与  $\bar{\rho}$  的差是显著的.

在检验一个假设  $H_0$  时, 也就是根据观测的数据判决  $H_0$  是否可以拒绝时, 不论采取什么样的程序, 总会涉及两种类型的错误:

- (a) 当  $H_0$  是真实的时候, 反而被拒绝, 这叫做第一种错误;
- (b) 当  $H_0$  实际不成立时候, 反而被接受, 这叫做第二种错误.

如图2所示, 在某一噪声条件下, 设在非正确匹配处的相关值为  $\rho_N$ , 其均值为  $\bar{\rho}_N$ , 标准差为  $\sigma_{\rho_N}$ , 概率分布密度为  $p(\rho_N)$ , 不失一般性假设它为正态分布. 由于  $p(\rho_N)$  和  $p(\rho)$  互相

如此推断的哲理是, 因为  $\alpha$  是一个小数, 那么根据小概率的实际不可能性原理, 当飞行中一次匹配即出现这种事件, 则可认为: 若  $H_0$  属真, 则差异  $|\Delta\rho|$  ( $\Delta\rho < 0$ )  $> U_\alpha$  几乎是不可能的; 但差异  $\Delta\rho$  又是实际抽样的结果, 这就说明假设  $H_0$  有问题, 即不具备满意的匹配概率, 因而舍弃  $H_0$ . 于是, 决策的关键在于选定一个合适的小概率  $\alpha$ , 比如设  $\alpha = 1\%$  或  $\alpha = 0.5\%$ . 显然差异  $|\Delta\rho|$  ( $\Delta\rho < 0$ ) 愈大, 概率  $P\{\lambda < \Delta\rho\}$  愈小, 故接受或舍弃  $H_0$  的原则是有直观意义的. 若差异  $|\Delta\rho|$  ( $\Delta\rho < 0$ ) 对一定的概率  $\alpha$  被认为过大时, 我们说在显

重叠,两种错误实际都将存在.故对于一个  $\alpha$ ,我们可以估算出两种错误的概率.

实际处理时,我们首先统计出在预先选定的多种噪声类型(如高斯白噪声,不同相关长度的相关噪声<sup>[6]</sup>等,以相关长度  $CL_i$  表示,而白噪声可看作相关长度为零的相关噪声)及信噪比  $SNR_j$  条件下,正确匹配位置处相关度量  $\rho_c$  的概率分布密度函数均值  $\bar{\rho}_{c_{ij}}$  和标准差  $\sigma_{c_{ij}}$ ;检验的显著性水平  $\alpha_{ij}$  ( $i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J$ , 其中  $I, J$  分别为预先选定的噪声类型数及信噪比水平数),  $CL_i$  和  $SNR_j$  为有序序列,它们的值分别随  $i, j$  的增大而增大.然后对某次具体匹配实验,采用以下方式检验其匹配可信度.

1) 计算实时图与匹配所得参考图的对应子图间的噪声类型、信噪比.

这里噪声类型可通过计算实时图与匹配所得参考图的对应子图间差图像的相关长度得到,计算式为

$$L = \frac{L_h + L_v}{2}, \quad (2)$$

其中  $L_h, L_v$  为横向和纵向的相关长度,且有

$$\rho_h = e^{-|h|/L_h}, \quad \rho_v = e^{-|v|/L_v}, \quad (3), (4)$$

其中  $\rho_h$  和  $\rho_v$  分别表示横向和纵向方向的自相关系数,  $h$  和  $v$  分别表示在横向和纵向方向的位移增量.可见“相关长度”实际上等于自相关系数为  $1/e=0.368$  时的位移增量的大小.

信噪比的计算式为

$$SNR = \frac{\sigma_r(u^*, v^*)}{\sigma_n(u^*, v^*)} = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{M_s} \sum_{j=1}^{N_s} [G_r(i + u^*, j + v^*) - \bar{G}_r(u^*, v^*)]^2}{\sum_{i=1}^{M_s} \sum_{j=1}^{N_s} [G_s(i, j) - \bar{G}_s - G_r(i + u^*, j + v^*) + \bar{G}_r(u^*, v^*)]^2} \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

其中  $G_r$  和  $G_s$  分别表示原始参考图和实时图,  $\bar{G}_r(u^*, v^*)$  表示  $G_r$  中以  $(u^*, v^*)$  为左上角、大小为  $M_s \times N_s$  的子图的灰度均值,  $\bar{G}_s$  表示  $G_s$  的灰度均值.

2) 根据在预先选定的多种噪声类型及信噪比条件下的  $\bar{\rho}_{c_{ij}}, \sigma_{c_{ij}}$  和  $\alpha_{c_{ij}}$  值,通过插值确定当前噪声类型及信噪比条件下的  $\bar{\rho}_c, \sigma_c$  和  $\alpha$  值.

插值公式如下:

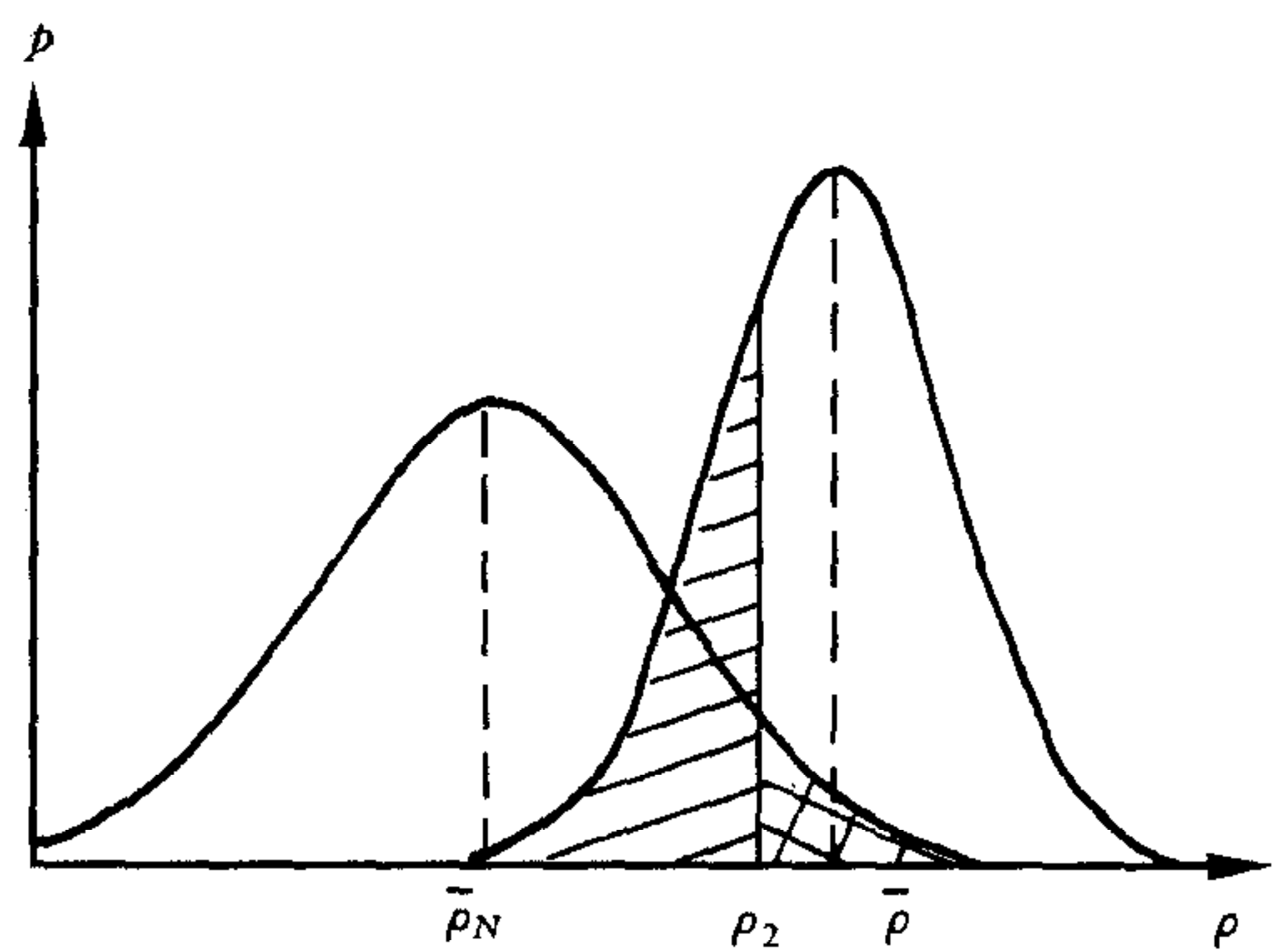


图2 假设检验错误示意图

$$\bar{\rho}_c = \left\{ \begin{array}{l} \bar{\rho}_{c_{11}} \quad CL < CL_1 \text{ and } SNR < SNR_1 \\ \bar{\rho}_{c_{1J}} \quad CL < CL_1 \text{ and } SNR > SNR_J \\ \bar{\rho}_{c_{I1}} \quad CL > CL_I \text{ and } SNR > SNR_1 \\ \bar{\rho}_{c_{IJ}} \quad CL > CL_I \text{ and } SNR < SNR_J \\ \\ p_1 \bar{\rho}_{c_{i1}} + p_2 \bar{\rho}_{c_{i+1,1}} \quad CL_i \leq CL < CL_{i+1} \text{ and } SNR < SNR_1, 1 \leq i < I \\ p_1 \bar{\rho}_{c_{iJ}} + p_2 \bar{\rho}_{c_{i+1,J}} \quad CL_i \leq CL < CL_{i+1} \text{ and } SNR > SNR_J, 1 \leq i < I \\ q_1 \bar{\rho}_{c_{1j}} + q_2 \bar{\rho}_{c_{1,j+1}} \quad CL < CL_1 \text{ and } SNR_j < SNR < SNR_{j+1}, 1 \leq j < J \\ q_1 \bar{\rho}_{c_{Ij}} + q_2 \bar{\rho}_{c_{I,j+1}} \quad CL > CL_I \text{ and } SNR_j < SNR < SNR_{j+1}, 1 \leq j < J \\ r_1 \bar{\rho}_{c_{ij}} + r_2 \bar{\rho}_{c_{i+1,j}} + r_3 \bar{\rho}_{c_{i,j+1}} + r_4 \bar{\rho}_{c_{i+1,j+1}} \quad CL_i \leq CL < CL_{i+1} \text{ and } SNR_j < SNR < SNR_{j+1}, \\ \quad 1 \leq i < I, 1 \leq j < J; \end{array} \right.$$

$$\sigma_c = \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{c_{11}} \quad CL < CL_1 \text{ and } SNR < SNR_1 \\ \sigma_{c_{1J}} \quad CL < CL_1 \text{ and } SNR > SNR_J \\ \sigma_{c_{I1}} \quad CL > CL_I \text{ and } SNR < SNR_1 \\ \sigma_{c_{IJ}} \quad CL > CL_I \text{ and } SNR > SNR_J \\ \\ p_1 \sigma_{c_{i1}} + p_2 \sigma_{c_{i+1,1}} \quad CL_i \leq CL < CL_{i+1} \text{ and } SNR < SNR_1, 1 \leq i < I \\ p_1 \sigma_{c_{iJ}} + p_2 \sigma_{c_{i+1,J}} \quad CL_i \leq CL < CL_{i+1} \text{ and } SNR > SNR_J, 1 \leq i < I \\ q_1 \sigma_{c_{1j}} + q_2 \sigma_{c_{1,j+1}} \quad CL < CL_1 \text{ and } SNR_j < SNR < SNR_{j+1}, 1 \leq j < J \\ q_1 \sigma_{c_{Ij}} + q_2 \sigma_{c_{I,j+1}} \quad CL > CL_I \text{ and } SNR_j < SNR < SNR_{j+1}, 1 \leq j < J \\ r_1 \sigma_{c_{ij}} + r_2 \sigma_{c_{i+1,j}} + r_3 \sigma_{c_{i,j+1}} + r_4 \sigma_{c_{i+1,j+1}} \quad CL_i \leq CL < CL_{i+1} \text{ and } SNR_j < SNR < SNR_{j+1}, \\ \quad 1 \leq i < I, 1 \leq j < J; \end{array} \right.$$

$$\alpha = \left\{ \begin{array}{l} \alpha_{11} \quad CL < CL_1 \text{ and } SNR < SNR_1 \\ \alpha_{1J} \quad CL < CL_1 \text{ and } SNR > SNR_J \\ \alpha_{I1} \quad CL > CL_I \text{ and } SNR < SNR_1 \\ \alpha_{IJ} \quad CL > CL_I \text{ and } SNR > SNR_J \\ \\ p_1 \alpha_{i1} + p_2 \alpha_{i+1,1} \quad CL_i \leq CL < CL_{i+1} \text{ and } SNR < SNR_1, 1 \leq i < I \\ p_1 \alpha_{iJ} + p_2 \alpha_{i+1,J} \quad CL_i \leq CL < CL_{i+1} \text{ and } SNR > SNR_J, 1 \leq i < I \\ q_1 \alpha_{1j} + q_2 \alpha_{1,j+1} \quad CL < CL_1 \text{ and } SNR_j < SNR < SNR_{j+1}, 1 \leq j < J \\ q_1 \alpha_{Ij} + q_2 \alpha_{I,j+1} \quad CL > CL_I \text{ and } SNR_j < SNR < SNR_{j+1}, 1 \leq j < J \\ r_1 \alpha_{ij} + r_2 \alpha_{i+1,j} + r_3 \alpha_{i,j+1} + r_4 \alpha_{i+1,j+1} \quad CL_i \leq CL < CL_{i+1} \text{ and } SNR_j < SNR < SNR_{j+1}, \\ \quad 1 \leq i < I, 1 \leq j < J. \end{array} \right.$$

上式中  $p_1 = \frac{(CL - CL_{i+1})}{(CL_i - CL_{i+1})}$ ,  $p_2 = \frac{(CL - CL_i)}{(CL_{i+1} - CL_i)}$ ,  $q_1 = \frac{(SNR - SNR_{j+1})}{(SNR_j - SNR_{j+1})}$ ,  
 $q_2 = \frac{(SNR - SNR_j)}{(SNR_{j+1} - SNR_j)}$ ,  $r_1 = \frac{(CL - CL_{i+1}) \cdot (SNR - SNR_{j+1})}{(CL_i - CL_{i+1}) \cdot (SNR_j - SNR_{j+1})}$ ,

$$r_2 = \frac{(CL - CL_i) \cdot (SNR - SNR_{j+1})}{(CL_{i+1} - CL_i) \cdot (SNR_j - SNR_{j+1})}, r_3 = \frac{(CL - CL_{i+1}) \cdot (SNR - SNR_j)}{(CL_i - CL_{i+1}) \cdot (SNR_{j+1} - SNR_j)},$$

$$r_4 = \frac{(CL - CL_i) \cdot (SNR - SNR_j)}{(CL_{i+1} - CL_i) \cdot (SNR_{j+1} - SNR_j)}.$$

3) 利用  $\bar{\rho}_c, \sigma_c$  和  $\alpha$  值及该次匹配的最佳匹配度量值  $\rho_0$ , 确定该次实验的匹配可信度.

令  $\Delta\rho = \frac{\rho_0 - \bar{\rho}_c}{\sigma_c}$ , 若  $P\{\lambda < \Delta\rho\} \geq \alpha$ , 即  $\Delta\rho \geq U_\alpha$ , 则称在检验的显著性水平  $\alpha$  下, 此次匹配实验的匹配结果可信; 否则不可信.

预先选定多种噪声类型及信噪比条件是因为在不同的噪声类型及信噪比条件下, 正确匹配位置处相关度量的概率分布密度函数均值和标准差均有所不同, 以及相应地检验显著性水平也有所不同. 而检验显著性水平是以两类错误概率最小为准则确定的, 显然在不同的噪声类型及信噪比条件下, 检验显著性水平与正确匹配及非正确匹配位置处相关度量的概率分布密度函数均值  $\bar{\rho}_c, \bar{\rho}_f$ 、标准差  $\sigma_c, \sigma_f$  及正确匹配与错误匹配的概率  $p_c, p_f$  有关.

我们知道, 由匹配算法所确定的匹配位置为相关面的最大相关峰值所在处, 由于噪声的影响, 即使该最大相关峰值点与真实匹配位置处于同一相关峰上, 二者间也会存在着一定的偏差, 此即为匹配误差<sup>[4,5]</sup>. 在我们的匹配算法中, 定义当由匹配算法所确定的匹配位置与真实匹配位置间的偏差小于一定的范围时(如由匹配算法所确定的匹配位置处于真实匹配位置的  $7 \times 7$  邻域内)为正确匹配, 否则为错误匹配. 该范围内的相关度量为正确匹配位置处的相关度量, 其余为非正确匹配位置处的相关度量.

在本文中, 我们共选择了三种噪声类型, 即高斯白噪声、相关长度为2的相关噪声及相关长度为4的相关噪声, 四种信噪比水平, 即0.5, 1, 2和3. 将大小为  $160 \times 160$  的航片作为参考图, 随机产生进入点, 并截取大小为  $36 \times 36$  的子图, 分别加上信噪比为0.5, 1, 2和3的高斯白噪声、相关长度为2的相关噪声及相关长度为4的相关噪声, 作为实时图, 与原始图像进行匹配, 统计在正确匹配点处相关度量  $\rho$  的概率分布. 通过大量类似的匹配模拟实验, 即可得到在以上三种噪声类型和四种信噪比水平下, 在正确匹配点处相关度量  $\rho$  的概率分布图及其均值  $\bar{\rho}_c$  和标准差  $\sigma_c$ , 如表1所示. 而各种噪声类型及信噪比水平下检验显著性水平  $\alpha$  取值亦如表1所示.

表1 各种噪声类型及信噪比水平下  $p_c, p_f, \bar{\rho}_c, \sigma_c, \bar{\rho}_f, \sigma_f$  及  $\alpha$  取值列表

噪声类型	信噪比	$p_c$	$p_f$	$\bar{\rho}_c$	$\sigma_c$	$\bar{\rho}_f$	$\sigma_f$	$\alpha$
白噪声	0.5	0.14	0.86	0.77120	0.02302	0.79605	0.00637	0.97201
白噪声	1	0.97	0.03	0.84320	0.02624	0.80000	0.01000	0.0010
白噪声	2	1.00	0.00	0.92940	0.01503	0.00000	0.00000	0.0015
白噪声	3	1.00	0.00	0.96200	0.01128	0.00000	0.00000	0.0015
相关噪声(相关长度为2)	0.5	0.06	0.94	0.75980	0.02810	0.80096	0.00749	0.98896
相关噪声(相关长度为2)	1	0.87	0.13	0.83010	0.02761	0.79923	0.00493	0.00215
相关噪声(相关长度为2)	2	1.00	0.00	0.91720	0.01918	0.00000	0.00000	0.0015
相关噪声(相关长度为2)	3	1.00	0.00	0.95550	0.01282	0.00000	0.00000	0.0015
相关噪声(相关长度为4)	0.5	0.49	0.51	0.79820	0.03122	0.80608	0.01002	0.80524
相关噪声(相关长度为4)	1	1.00	0.00	0.88550	0.02418	0.00000	0.00000	0.0015
相关噪声(相关长度为4)	2	1.00	0.00	0.95430	0.01343	0.00000	0.00000	0.0015
相关噪声(相关长度为4)	3	1.00	0.00	0.97820	0.00744	0.00000	0.00000	0.0015

## 4 实验结果

采用本文提出的匹配可信度分析技术,我们进行了以下四组实验:

1)对于大小为 $160 \times 160$ 的实际卫片,随机产生进入点,截取大小为 $36 \times 36$ 的子图,并迭加信噪比为2的高斯白噪声作为实时图,与该卫片进行匹配;

2)对于大小为 $160 \times 160$ 的实际卫片,随机产生进入点,截取大小为 $36 \times 36$ 的子图,并迭加信噪比为2、相关长度为2的相关噪声作为实时图,与该卫片进行匹配;

3)对于大小为 $160 \times 160$ 的实际卫片,随机产生进入点,截取大小为 $36 \times 36$ 的子图,迭加信噪比为2的高斯白噪声及信噪比为2、相关长度为4的相关噪声作为实时图,与该卫片进行匹配;

4)对于大小均为 $160 \times 160$ 的实际卫片和航片对,以卫片为参考图,并在航片上随机产生进入点,截取大小为 $36 \times 36$ 的子图作为实时图,与卫片进行匹配.

各组分别进行了100次匹配实验.以相关度量准则确定匹配可信度的两类错误次数及总体错误概率如表2所示,其中第4组由于是在实际卫片和航片条件下进行的实验,既可能存在高斯白噪声,又可能存在相关噪声,而且还可能存在相关长度不同的

表2 各组实验中两类错误统计

实验组号	第一类错误	第二类错误	总体错误概率
1	0	0	0%
2	2	0	2%
3	0	0	0%
4	3	4	7%

多种相关噪声,情况较前3组实验更为复杂,因此错误率较前3组实验要高.但从实用的角度来看,7%的错误率并不算高,本文提出的匹配可信度分析方法仍然是有效的.

## 参 考 文 献

- 1 Rao C R. Linear Statistical Inference and Its Applications. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1973
- 2 Fukunaga K. Introduction to Statistical Pattern Recognition. New York: Academic Press, 1972
- 3 Pratt W K. Digital Image Processing. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1978
- 4 孙仲康,沈振康. 数字图像处理及其应用. 北京:国防工业出版社,1985
- 5 荆仁杰等. 计算机图像处理. 杭州:浙江大学出版社,1990
- 6 Weeks A R, Myler H R, Wenaas H G. Computer-generated noise images for the evaluation of image processing algorithm. *Optical Engineering*, 1993, **32**(5): 982—992

**桑 农** 1968年生,1990年毕业于华中理工大学计算机软件专业,1993年获华中理工大学模式识别与智能控制专业硕士学位,现任该校教授.从事图像分析、影像匹配、计算机视觉和模式识别等方面的研究工作.在国内外学术刊物和国际学术会议发表论文30余篇.

**张天序** 1947年生,1970年毕业于中国科学技术大学无线电电子学系,博士.现任华中理工大学图像识别与人工智能研究所教授、博士生导师、所长.从事精确制导、计算机视觉、智能图像数据压缩、生物医学成象及处理等方面的科研、教学工作,在国内外学术刊物和国际学术会议发表论文50余篇.