

# 基于知识的印鉴鉴别方法

胡庆 杨静宇 张黔 刘克

(华东工学院计算机系, 南京)

## 摘 要

计算机印鉴鉴别是一项十分困难但又具有广泛应用背景的课题,国际上至今尚无实用有效的鉴别方法。本文从知识工程的角度出发,对印鉴鉴别中的启发式知识进行了深入的讨论,并在此基础上引入了一套完整的基于启发式知识的印鉴鉴别方法。该方法以启发式搜索获得配准关系,并根据启发式知识在其中提取一组结构特征,最后结合结构信息和统计模型作出判决。实验结果表明,该方法在可靠性、适应性和实用性方面比现有方法均有明显改进,已接近实用。

**关键词:** 印鉴鉴别,启发式知识,启发式搜索,特征提取,分类器。

## 一、引 言

印鉴作为个人、单位、政府具有法律意义的标志,在我国及一些亚洲国家的许多部门广泛使用。传统的手工核对方式,已不能适应实际工作需要;开展计算机印鉴自动鉴别的研究,无疑具有广泛的应用背景和一定的理论意义。

计算机印鉴自动鉴别的基本思想是:利用数字图象处理、模式识别、计算机视觉的技术和方法,分析预留印鉴(记为MS)和待鉴别印鉴(记为SS)之间的差异,以确定SS与MS是否是同一印章所加盖出的印鉴。通常情况下,判决结果有三类:真印鉴、假印鉴、可疑印鉴。

计算机印鉴自动鉴别的研究是一项十分困难的课题,在实际场合中,由于加盖印鉴的条件不同(印泥成分及多少、用力大小、下垫物的软硬等),会造成同一印章的不同印鉴之间的较大差异,蓄意伪造的印章也可盖出足以以假乱真的印鉴。既要有准确区分假章印鉴的能力和鉴别真伪的可靠性,又要具有容忍真章印鉴间较大差异的适应性,这是计算机印鉴自动鉴别方法所必须具有的特性,也是该项研究的难点所在。此外,具体实现时,尚需解决许多工程问题(如鉴别速度、设备成本等)。

由于计算机印鉴自动鉴别问题的理论和实践意义,日本、南朝鲜和台湾等地的学者对此进行了较深入的研究。Ueda和Nakamura<sup>[1]</sup>最早开发了一套基于若干局部和全局特征的统计决策方法;Fan和Tsai<sup>[2]</sup>提出了基于细化后骨架的结构方法;Lee和Kim<sup>[3]</sup>引入了ASG(笔划特征图),把关系图和几何位置结合起来进行判决。由于特征

本身的单一性和稳定性问题以及鉴别方法与启发式知识的脱节,使得上述方法无法在可靠性和适应性方面都达到令人满意的地步,离实用相差较远。

本文提出了一种基于启发式知识的高度有效的计算机印鉴自动鉴别方法,该方法来源于对印鉴鉴别过程中启发式知识的研究,在鉴别过程中充分地使用启发式知识,并结合了结构方法和统计方法的长处,使得该方法在可靠性和适应性方面均取得了相当的进展。基于该方法的“印鉴真伪鉴别系统”经银行试用,基本达到实用要求。系统的工作效率和成本均符合使用要求。在 10MHz 的 PC286 计算机上,鉴别一个印鉴约需 1—2 秒,而文献[2,3]所用方法约需 3—5 分钟。

## 二、印鉴鉴别的启发式知识

印鉴真伪鉴别的依据是 MS 和 SS 之间的差异,本文引入“差图象”的概念来定量描述这种差异。设  $b(p) \in \{0,1\}$  表示图象平面上  $p$  点的灰度,配准关系  $f$  是从 MS 的图象平面到 SS 的图象平面的一个全等变换(计算方法见第三节),  $X$  表示 MS 在其图象平面上的所在区域,则 MS 和 SS 之间的“差图象”定义为

$$\text{dif}(f, \text{MS}, \text{SS}) = \{b(p) \oplus b(f(p)) | p \in X\},$$

其中  $\oplus$  表示异或运算。图 1 给出了一个“差图象”的实例。“差图象”又可进一步区分为“真差”(同一印章的不同印鉴之间的“差图象”)和“假差”(不同印章的印鉴之间的“差图



图 1 差图象 (a) MS 图象; (b) SS 图象; (c) “差图象”。

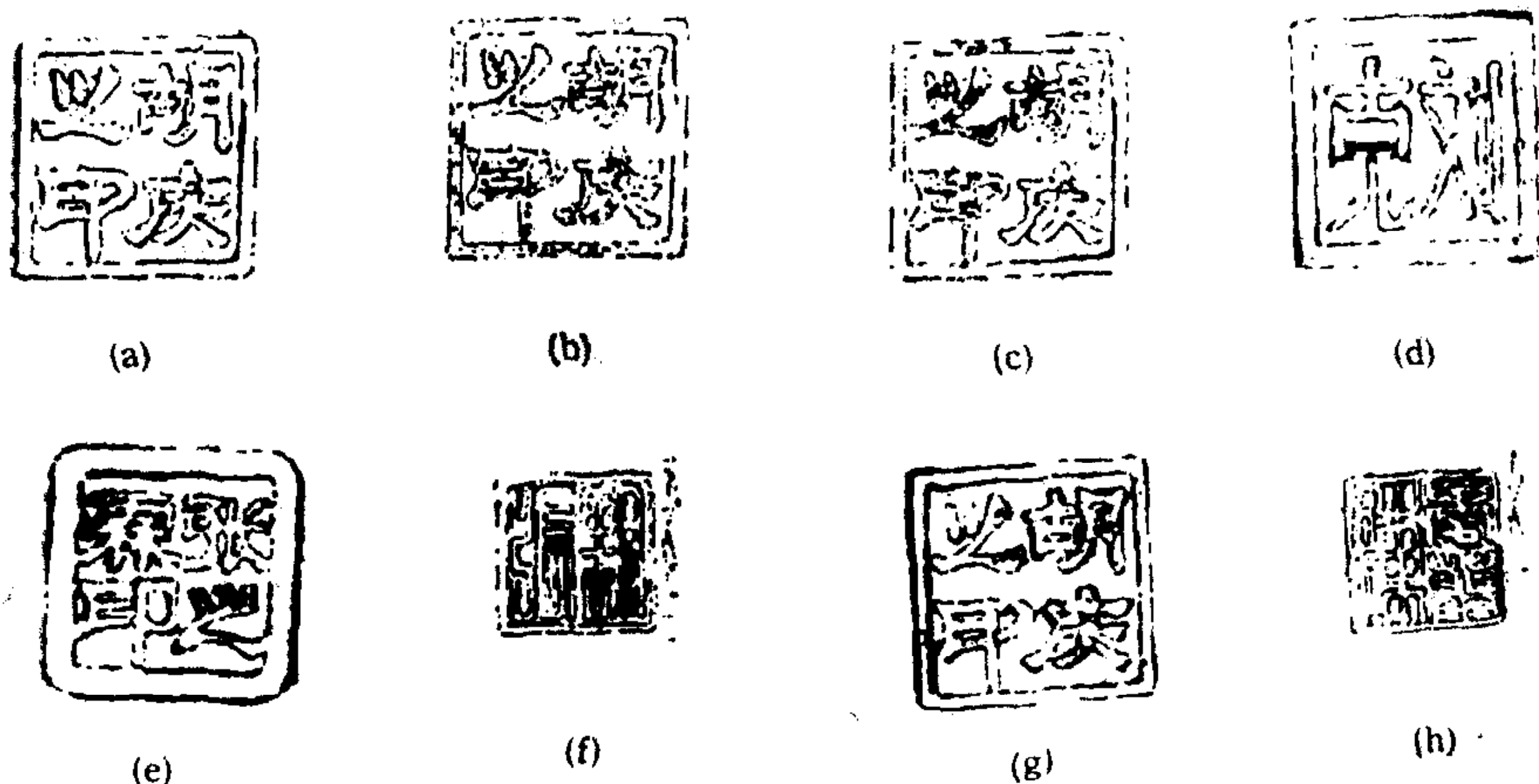


图 2 真差和假差图象  
(a)—(c) 真差实例; (d)—(h) 假差实例。

象”)。图 2 所示为“真差”和“假差”实例。

“差图象”中的点根据其连续性可分为若干成份,这些成份按形状可分为线状、点状和块状;而按属性可分成一类 ( $b(p) = 1$  且  $b(f(p)) = 0$ ) 或二类 ( $b(p) = 0$  且  $b(f \times (p)) = 1$ )。根据印鉴鉴别专家的经验 and 知识,现总结出如下一些判别“真差”和“假差”的启发式知识。

“真差”来源于同一印章的不同盖印条件和计算误差,各种成份在面积上都较小。当 MS 与 SS 盖印条件相似时,极少出现点状成份,几乎没有块状成份;当两者盖印条件相差悬殊时,表现为两类成份在数量上相差悬殊,其中一类几乎为零;无论何时,都极少出现较粗的线状成份。

“假差”的主要来源是不同印章的印鉴在框架和笔划的几何位置上的差异,其表现是出现较粗的线状成份及较多较大的点状和块状误差。即使在两者盖印条件接近时,两类成份都有较明显的线状、块状特征。

由以上讨论可知,印鉴真伪鉴别分为以下两个步骤:

- 1) 计算配准关系获取“差图象”;
- 2) 从“差图象”中提取能反映上述启发式知识的特征并作出判决。

### 三、利用启发式搜索进行配准

在低层处理中,印鉴图象从背景和噪声中被分割出来,并确定了它的几何位置。对方形印鉴,选用四个角点表示其位置及区域,记为,  $Q4P$ , 即  $Q4P = (p_1, p_2, p_3, p_4)$ 。对非方形印鉴,可用文献 [1] 中的方法求取并表示印鉴位置和区域。  $Q4P_M$  和  $Q4P_S$  分别表示 MS 和 SS 的角点。配准的目标是借助于  $Q4P_M$  和  $Q4P_S$ , 确定一个由 MS 的图象平面到 SS 的图象平面的全等变换  $F$ , 满足

$$\min_F \sum_{p \in \text{Rec}(Q4P_M)} b(p) \oplus b(F(p)), \quad (1)$$

其中  $b(p)$  含义同前,  $\text{Rec}(Q4P_M)$  表示由  $Q4P_M$  围成的四边形区域。

计算  $F$  的基本思想为: 先根据  $Q4P_M$  和  $Q4P_S$  确定一个初始变换  $F_0$ , 然后对变换空间进行启发式搜索, 逐步修改  $F_0$  为  $F_1$  及  $F_2$ , 使其满足式(1)。

设  $Q4P_M = (p_1, p_2, p_3, p_4)$ ,  $P_S = (x_p, y_p)$  是其重心;  $Q4P_S = (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4)$ ,  $Q_S = (x_q, y_q)$  是其重心;  $\alpha$  是  $\overrightarrow{P_1P_2}$  与  $\overrightarrow{Q_1Q_2}$  之间的夹角; 则  $F_0$  选为满足下式的全等变换:

$$\begin{cases} \bar{x} = (x - x_p) \cos \alpha - (y - y_p) \sin \alpha + x_q, \\ \bar{y} = (x - x_p) \sin \alpha + (y - y_p) \cos \alpha + y_q. \end{cases}$$

在二维全等变换空间中, 变换  $F$  在一个邻域内的所有变换与三元组  $t = (r, dx, dy)$  是一一对应的。对于上述  $F_0$  而言,  $t = (r, dx, dy)$  所对应的变换为

$$\begin{cases} \bar{x} = (x - x_p) \cos(\alpha + r) - (y - y_p) \sin(\alpha + r) + (x_q + dx), \\ \bar{y} = (x - x_p) \sin(\alpha + r) + (y - y_p) \cos(\alpha + r) + (y_q + dy). \end{cases}$$

因而, 对变换空间的搜索可以通过对以三元组为状态的状态空间的搜索来实现。为减少

计算工作量,搜索过程分两步进行:

1) 以  $F_0$  为初态(对应于  $t_0=(0,0,0)$ ), 设  $f(t)$  为三元组  $t$  所对应的全等变换, 启发式函数  $H_1[f(t)] = \sum_{p_i \in Q4P_M} |Q_i - f(t)[p_i]|$ , ( $||$ 表示两点间的几何距离), 搜索目标为

$H_1[f(T)] \leq H_1[f(t)]$ ,  $t \in T$  的相邻状态集. 按文献[4]中的  $A^*$  算法进行搜索, 最终求得  $T_1$  及  $F_1 = f(T_1)$ . 因为  $H_1$  计算简单, 这步工作完成较快.

2) 以  $F_1$  为初态, 用三元组表示  $F_1$  邻域的变换, 启发式函数为

$$H_2[f(t)] = \sum_{p \in \text{Rec}(Q4P_M)} b(p) \oplus b(f(t)[p]),$$

搜索目标为  $H_2[f(T)] \leq H_2[f(t)]$ ,  $t \in T$  的相邻状态集. 利用  $A^*$  算法, 求得  $T_2$  及  $F_2 = f(T_2)$ . 因  $H_2$  计算复杂, 这一步计算时间耗费较多.

有关启发式搜索的理论<sup>[4]</sup>可以保证用  $F_2$  代替(1)式中的  $F$ , 在实际场合, 这套方法总能获得良好的配准关系. 还可以用若干线段集  $\text{Seg}(Q4P_M)$  来代替  $\text{Rec}(Q4P_M)$ , 以减少工作量且不失精度.

#### 四、基于知识的特征提取

由配准关系获得了 MS 与 SS 之间的“差图象”, 根据启发式知识可设计出若干个反映“差图象”结构的特征作为判决依据.

##### 1. 基于图象结构的误差特征

这组特征来源于对“差图象”  $\text{dif}(F, MS, SS)$  直接的计算, 记  $\text{mfdif}(F, MS, SS)$  为对  $\text{dif}(F, MS, SS)$  用  $3 \times 3$  窗口进行中值滤波后得到的结果, 根据两类成份定义

$$\text{mdif}(F, MS, SS) = \{b(p) \ominus b(F(p)) \mid p \in \text{Rec}(Q4P_M)\},$$

$$\text{sdif}(F, MS, SS) = \{b(F(p)) \ominus b(p) \mid p \in \text{Rec}(Q4P_M)\},$$

其中  $\ominus$  定义为  $x \ominus y = \begin{cases} 1 & x = 1 \wedge y = 0 \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$

由上述定义可计算出  $\text{mfdif}$ ,  $\text{mdif}$ ,  $\text{sdif}$  中“1”的个数, 分别记为  $\text{FDGP}(F, MS, SS)$ ,  $\text{DIMM}(F, MS, SS)$ ,  $\text{DIMS}(F, MS, SS)$ , 并分别简写为  $\text{FDGP}$ ,  $\text{DIMM}$ , 和  $\text{DIMS}$ , 由此得到第一组特征. 它们的意义较为明显:  $\text{mfdif}(F, MS, SS)$  对应于  $\text{dif}(F, MS, SS)$  较粗的线状成份和块状成份;  $\text{FDGP}$  可以看成综合指标;  $K_1 = |\text{DIMS} - \text{DIMM}| / \max\{\text{DIMM}, \text{DIMS}\}$  则反映了 MS 与 SS 的盖印条件, 可用来修正  $\text{FDGP}$  以适合不同盖印条件;  $K_2 = \min\{\text{DIMS}, \text{DIMM}\}$ , 根据“假差”的启发式知识, 它特别敏感于“假差”.

##### 2. 敏感于线状和块状成份的特征 SCWT

根据“真差”“假差”的启发式知识, 可知“差图象”中的粗线和块状成份是判决“假差”的重要依据. 下面考虑一种敏感于这些成份的特征.

设  $L = p_0 p_1$  是“差图象”平面上的一条线段, 其上的灰度分布构成二进制序列  $BS(L)$ .

给定二进制序列  $d = d_1 d_2 \cdots d_N$ ,  $d$  的“1”子段集 (记为  $1 - SS(d)$ ) 是  $d$  上满足下式的子段  $d_i = d_i d_{i+1} \cdots d_{i+l}$  的集合:

$$\begin{cases} d_j = 1, i \leq j \leq i+l, \\ d_{i-1} = d_{i+l+1} = 0. \end{cases}$$

当  $L$  来自“差图象”时,  $1 - SS(BS(L))$  则对应于“差图象”的各种成份, 而  $ds, ds \in 1 - SS(BS(L))$ , 则反映了这些成份的几何大小,  $\sum_{ds \in 1 - SS(BS(L))} |ds|^2$  则特别敏感于“差图象”

中的粗线和块状成份.

设  $FRL(dif(F, MS, SS), Q4P_M)$  表示一个由  $Q4P_M$  确定的“差图象”上均匀分布的线段集合,  $|L|$  表示线段  $L$  的几何长度, 则

$$SCWT(F, MS, SS) = \sum_{L \in FRL(dif(F, MS, SS), Q4P_M)} \frac{|L|^2}{|S|^2} \sum_{ds \in 1 - SS(BS(L))} |ds|^2,$$

$$|S|^2 = \sum_{L \in FRL(dif(F, MS, SS), Q4P_M)} |L|^2$$

### 3. 具有校正能力的误差特征 SCRT

由于“真差”中也同样可能存在着许多线状和块状成份, 如何消除这些成份对判决的影响, 是引入如下特征的出发点. 为此, 先分析这些成份在“真差”和“假差”中的出现情况. 假设线段  $L$  是  $MS$  中穿越一些成份的线段, 而  $F(L)$  是在  $SS$  中穿越一些成份的线段,  $BS(L)$  和  $BS(F(L))$  相应部分的 0, 1 分布可用图 3 形式表示. 其中, (a), (b) 是“真差”中经常出现的情形, (c), (d) 是“假差”中经常出现的情形, (e) 可能是块状误差, 也可能是反映出  $F$  计算中的误差, 故需额外注意. 基于这些因素, 设计了如下的特征.

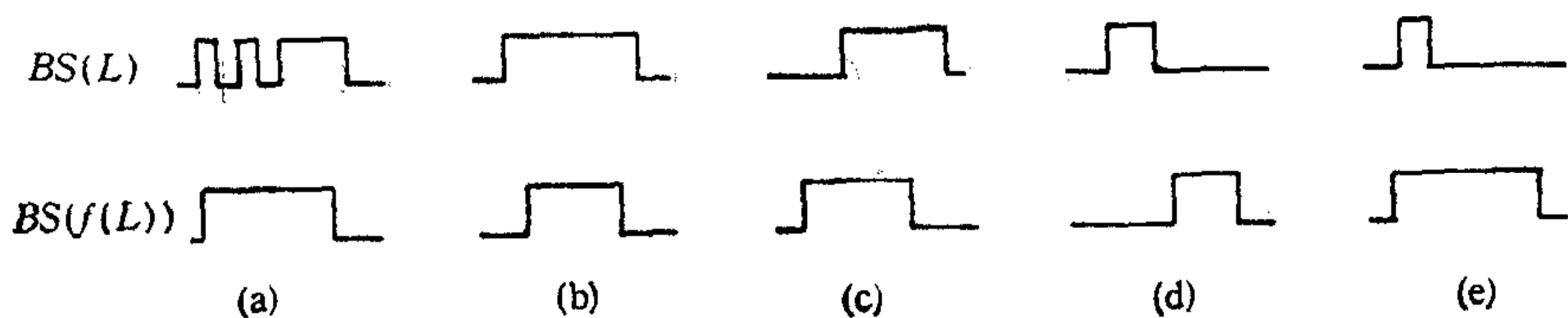


图 3  $BS(L), BS(F(L))$  在“真差”、“假差”中的分布情形

给定两个二进制序列  $S_1, S_2, 1 - SS(S_1) \times 1 - SS(S_2)$  上的一个二元关系称为最小“1”配准关系, 并记为  $SMP(S_1, S_2)$ , 如果其满足

i) 对任何的  $\alpha \in 1 - SS(S_1)$ , 总有  $\beta \in 1 - SS(S_2)$ , 满足  $(\alpha, \beta) \in SMP(S_1, S_2)$ , 反之亦然;

ii) 对任何满足 (i) 的  $Sx \leq 1 - SS(S_1) \times 1 - SS(S_2)$ , 总有

$$\begin{aligned} & \sum_{(\alpha, \beta) \in SMP(S_1, S_2)} (|h(\alpha) - h(\beta)| + |l(\alpha) - l(\beta)|) \\ & \leq \sum_{(\sigma, \delta) \in Sx} (|h(\sigma) - h(\delta)| + |l(\sigma) - l(\delta)|). \end{aligned}$$

其中对  $b_1 b_2 \cdots b_N$  的子段  $x = b_i b_{i+1} \cdots b_{i+l}$  而言,  $h(x) = i, l(x) = i + L$ .

依照定义,  $SMP(S_1, S_2)$  上存在一个划分  $p_t(SMP(S_1, S_2)) = \{P_1, P_2, \cdots, P_k\}$ ,  $(x_1, y_1) \overset{P_i}{\sim} (x_2, y_2)$  当且仅当存在  $\alpha_1, \cdots, \alpha_i, \cdots \in 1 - SS(S_1) \cup 1 - SS(S_2)$ , 满足  $(x_1, y_1) \overset{SMP}{\sim} (\alpha_1, y_1), \cdots, (\alpha_l, y_2) \overset{SMP}{\sim} (x_2, y_2)$ , 这里  $l$  也可以为零. 由此, 可计算

$$SC(S_1, S_2) = \sum_{P \in P_t(SMP(S_1, S_2))} (\min_{(\alpha, \beta) \in P} |h(\alpha) - h(\beta)| + \min_{(\alpha, \beta) \in P} |l(\alpha) - l(\beta)|) \frac{G(p)}{|P_t|},$$

$$GP = \begin{cases} 0 & \max \{ \min_{(\alpha, \beta) \in P} |h(\alpha) - h(\beta)|, \min_{(\alpha, \beta) \in P} |l(\alpha) - l(\beta)| \} > T, \\ 1 & \text{其它.} \end{cases}$$

其中  $|P_t|$  为  $P_t$  中元素的个数,  $T$  是阈值, 用来检查情形 (e).

$$FL(S_1, S_2) = \sum_{P \in P_t(SMP(S_1, S_2))} \lambda P \quad (G(p) = 0).$$

可以证明, 这样的特征对情形 (a) 和 (b) 不敏感, 而敏感于情形 (c) 和 (d). 对整幅图象而言, 有

$$SCRT(F, MS, SS) = \sum_{L \in \text{Seg}(Q4P_M)} SC(BS(L), BS(F(L))),$$

$$FLNS(F, MS, SS) = \sum_{L \in \text{Seg}(Q4P_M)} FL(BS(L), BS(F(L))).$$

#### 4. 辅助特征

黑点数:  $BLK(MS) = \sum_{P \in \text{Rec}(Q4P_M)} b(p),$

$$BLK(SS) = \sum_{P \in \text{Rec}(Q4P_S)} b(p).$$

边点数 (MS 和 SS 中边缘点的个数):

$$BDP(MS) = \sum_{P \in \text{Rec}(Q4P_M)} bf_2(p),$$

$$BDP(SS) = \sum_{P \in \text{Rec}(Q4P_S)} bf_2(p),$$

其中  $bf_2(p)$  为二维边缘算子; 若  $p = i(x, y)$ , 则

$$bf_2(p) = \max \{ b(i(x-1, y)) \oplus b(i(x+1, y)), b(i(x, y-1)) \oplus b(i(x, y+1)) \}.$$

笔划数 (Seg(Q4P<sub>M</sub>) 在 MS 上所穿越的笔划数):

$$SCR(B) = \sum_{P \in \text{Seg}(Q4P_M)} bf_2(p).$$

清晰度 (MS 与 SS 的盖印条件之差):

$$GCLS(MS, SS) = \frac{|BLK(MS) - BLK(SS)|}{|BLK(MS)|} + \frac{|BDP(MS) - BDP(SS)|}{|BDP(MS)|}.$$

印章复杂性 (单位长度上的笔划数):

$$CCPX(MS) = \frac{SCRB}{SCLG} \%,$$

$$\text{其中, } SCLG = \sum_{L \in \text{Seg}(Q4P_{1M})} |L|.$$

## 五、结合结构特征的统计分析

经过上述处理,可得到一个多维的特征向量。由于本问题固有的非线性,难以在高维空间中直接分类,故采用以下方案(其工作基础是实际中获得的具有 767 个典型印鉴样本组成的训练样本集):

首先,按着统计特征和启发式知识,针对部分特征设计了修正函数,以减少特征个数,增强特征的有效性。典型的有:用 GCLS 修正 SCWT,用 CCPX 修正 SCRT,用  $K_1$  修正 FDGP。同时,按统计方法对所有特征设计归一化函数,最终得到一个具有较好分类特性的特征向量  $FV = (SCWT, SCRT, FDGP, DIMM, DIMS, FLNS)$ 。

然后,把样本集在  $FV$  上投影所获得的向量集作为“学习样本集”(Learning Sample Set)。利用  $K-L$  方法正交化<sup>[4]</sup>,以求得一组正交的鉴别向量  $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_6)$ 。由于问题本身是非线性的,缺乏统一有效的处理方法,故对每个鉴别平面  $M_{ij} = (\beta_i - \beta_j)$  手工设计最佳鉴别函数,并根据它的错误概率给出鉴别函数  $mf(M_{ij})$ ,最终按  $mf(M_{ij})$  的值选择了三个候选鉴别平面  $M^{(1)} = M_{12}, M^{(2)} = M_{13}, M^{(3)} = M_{45}$ 。

此外,利用某些原始特征的分辨能力,对 SCWT, SCRT, FDGP 设计了各自的一维判别函数,同时也将它们看成另外三个一维候选鉴别平面  $M^{(4)}, M^{(5)}, M^{(6)}$ 。

最后,对于某个待鉴别特征向量  $\alpha$ ,分别在各个候选平面  $M^{(i)}$  上对其进行分类,并把所有结果放在一起,按少数服从多数原则进行表决,以获得最终判决结果。根据实际情况,这里的结果有“真”和“伪”两类,偶尔也有一些“可疑”的情况留待人工进行处理。

## 六、实验结果

图 4 给出了典型的“真差”“假差”图象,其中(a)是“真差”。其特征向量  $FV = (12,$



图 4 (a) “真差”图象 (b) “假差”图象

$35, 34, 16, 12, 0)$ , 在各鉴别平面上的判决结果为  $CS = (T, ?, T, T, T, T)$ , 这里  $T$  表示判决结果为“真”,  $?$  表示可疑,  $F$  表示“伪”。对此例的最终判决显然应为  $T$ 。(b)是“假差”,其特征向量为  $FV = (31, 44, 56, 36, 19, 3)$ ,  $CS = (?, F, ?, ?, ?, ?)$ , 因此最终判决结果为  $F$ , 即是一伪印鉴。

图 5 所示为一组实际获得的印鉴图象,其中(a),(b),(c),(d)分别来自不同的印章,且具有不同的盖印条件。其鉴别结果在表 1 中给出。表 1 还同时给出了本文前面插图中所涉及各个实例的实验数据,表中每行代

表一个实例, Fig. No给出了实例所在的图号。

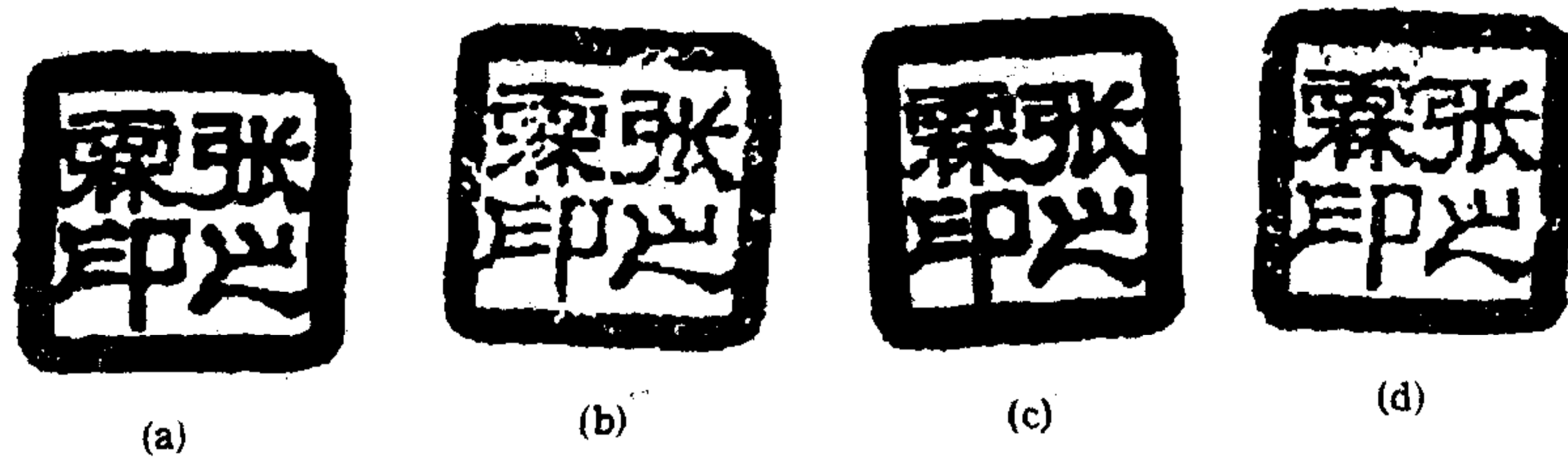


图 5 a) b) 来自同一印章,且盖印条件不同; c) d)来自另一印章,不同盖印条件。

表 1 本文插图所给各实例的实验数据

Fig. No	SCWT	SCRT	FDGP	DIMS	DIMM	FLNS	CCPX	GCLS	C_S	F_S
5.a-b	38	28	8	62	38	5	12	36	????T?	T
5.a-c	41	51	47	26	39	2	12	3	FFF???	F
5.a-d	59	71	28	64	53	3	12	34	FFFFFF	F
2.a	8	23	55	3	18	0	10	8	TTTTTT	T
2.b	20	32	43	39	39	0	10	12	?TTTT?	T
2.c	23	41	38	28	27	2	10	25	????T?	T
2.d	22	60	50	24	28	1	8	1	?F?TF?	F
2.e	23	57	54	22	37	2	13	5	????F?	F
2.f	25	58	52	31	41	6	19	4	F???FF	F
2.g	27	83	61	24	45	2	9	12	FFF?F?	F
2.h	29	78	38	34	34	4	21	11	FFF?F?	F

## 七、结 束 语

综上所述,由于充分地运用了启发式知识,本文所述的方法在可靠性,适应性和实用性各方面均取得了较大进展,达到了接近实用的地步。对于印鉴鉴别的启发式知识及其形式化,有待于继续研究,基于该方法的实用系统也在进一步完善之中。

该课题得到了中国工商银行总行科技部的资助,得到了江苏省分行的密切配合和协助,在此一并表示衷心的感谢。

## 参 考 文 献

- [1] Ueda, K., Nakamura, Y., Automatic Verification of Sealimpression Patterns, *Proc 7-th Int. Conf. Pattern Recognition (ICPR)*, 2(1984), 1019—1021.
- [2] Fan, T. J., Tsai, W. H., Automatic Chinese Seal Identification, *Computer Vision Graphics and Image Processing*, 25(1984), 311—330.
- [3] Lee, S., Kim, J. H., Unconstrained Seal Imprint Verification Using Attributed Stroke Graph Matching, *Pattern recognition*, 22(1989), 6, 653—664.
- [4] Nilson, N. J., *Principal of Artificial Intelligence*, Tioga Publishing Co. 1980.
- [5] Fukunaga, K., *Introduction to Statistical Pattern Recognition*, New York Academic, 1972.



# A KNOWLEDGE BASED SEAL IMPRINT VERIFICATION APPROACH

HU QING YANG JINGYU ZHANG QIAN LIU KE

*(Dept. of Computer Science, East China Institute of Technology, Nanjing, 210014)*

## ABSTRACT

To verify seal imprint by computer is a difficult practical problem. There is no efficient and practical approach up to date. According to the ideas of knowledge engineering and concepts of the heuristic knowledge in the seal imprint verification, an effective and practical approach has been presented in this paper. In the approach, heuristic search scheme is used to calculate the registration relation, several effective features are extracted based on heuristic knowledge, and final decision is made in a statistical classification model with structural information. Extensive experiments show that this approach is superior in reliability, adaptability and practability to many existing approaches.

**Key words:** Seal imprint verification; combined classification model; heuristic search in geometry space; feature extraction; K-L transformation.