

提高综合滤波器鉴别率的一种有效方法

陈自宽 张延炘 孙颖 母国光

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘 要 提出一种提高综合滤波器鉴别率的有效方法, 其做法是: 对样本集在等相关峰条件下求解综合滤波器的同时, 使样本集的互补样本满足零相关峰条件. 此方法把训练模式类同所有其它模式类在映射空间的距离拉大, 有效地提高了综合滤波器的鉴别率, 以取自同一手指的多个指纹为样本集, 求解综合鉴别函数后, 建立了指纹的实时模式识别系统. 实验结果表明本文提出的改进方法对提高综合滤波器的鉴别率是非常有效的.

关键词 综合鉴别函数, 鉴别率, 同类模式, 非同类模式, 互补样本.

1 引 言

综合鉴别函数 SDF (Synthetic Discriminant Function) 是进行畸变不变性模式识别的一种很有效的方法^[1~3], 它是由待识别目标可能出现的一些典型的状态构成的样本集综合得到的. 例如, 在指纹用于出入控制^[4]研究中, 取自于同一手指的多个指纹图象会因噪声、畸变、旋转、平移、残缺等因素的影响而不尽相同, 识别过程中即要求把它们判为同一指纹又要求把它们与其它手指的指纹鉴别开来. 这是一个典型的畸变不变性识别问题.

把出自于同一手指的各种指纹图象看作同类模式, 不同手指的指纹图象看作是非同类模式. 指纹识别用于出入控制的研究就希望找到一个线性算子, 使同类模式在判别空间中的映射点相互靠近, 不同类模式的映射点彼此远离. 换句话说, 希望类内距离减小, 类间距离加大, 这是模式识别的一条重要准则^[5, 6]. 缩小类内距离就是要对同一类模式的各种畸变性状态具有容错能力, 在识别过程中, 对该类模式做到畸变不变性识别. 类内距离越小, 容错性越好, 不变性识别越好. 在另一方面, 又要拉大类间距离, 这是为了提高系统的鉴别率. 类间距离大, 各类模式在判别空间的分布彼此远离, 识别系统就容易把各类模式分开. 对于指纹用于出入控制的情况, 要把某个特定的指纹同所有其它手指的指纹(包括所有其它人)鉴别开来, 就是要设法增大该类模式同所有其它类模式的距离, 企图通过对所有其它类模式的样本训练来进行是不可能的. 现有方法对此并没有作任何考虑^[1~3]. 本文提出用训练样本的互补样本在零相关峰条件下进行训练来改进现有的综合滤波器训练方法, 就能有效地使该类训练模式同所有其它模式类远离, 从而提高系统的鉴别率.

2 综合鉴别函数

选取目标的一些可能出现的状态作为样本集, 记为 $\{X_i, i = 1, 2, \dots, m\}$, 每个样本都视为维数与图象象元数相同的一个列矢量, 可将它们按行排成样本集矩阵 $W = [X_1, X_2, \dots, X_m]^T$. 模式识别的普遍问题中, 所选取的样本数目 m 总是远小于样本矢量的维数 $N^{[1, 4]}$. 把待求的综合鉴别函数记为 h , 对于等相关峰 (ECP: Equal Correlation Peak) 条件, h 与各样本 X_i 的内积要求为一常数值 c , 即满足

$$X_i^T h = c \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

矩阵表示为

$$Wh = C \quad (2)$$

式中 C 为分量均为常数 c 的 m 维常矢量, 即 $C^T = (c, c, \dots, c)$, 把综合鉴别函数 h 视为由样本集 W 线性组合而成, 即 h 可表示为

$$h = \sum_{i=1}^m a_i X_i = W^T A \quad (3)$$

式中, $A^T = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_m)$ 是待求的组合系数矢量. 把 (3) 式代入 (2) 式得 $Wh = WW^T A = C$, $A = (WW^T)^{-1}C$. 于是

$$h = W^T (WW^T)^{-1}C \quad (4)$$

综合鉴别函数就是通过 (4) 式求得的.

3 综合鉴别函数的改进方法

本文提出改进综合鉴别函数的鉴别率的原理是: 在图象矢量构成的空间中, 二值图象与它的互补图象有最大的距离, 即它们之间的相似性最小. 在综合鉴别函数线性映射的判别空间中, 希望它们之间有最大的距离. 对于等相关峰条件下的综合鉴别函数, 本文提出同时对该样本集的互补样本在零相关峰条件下训练的方法来拉大判别空间中模式类间的距离, 从而提高鉴别率.

二值图象的互补图象是把 0 象素变成 1 象素, 把 1 象素变成 0 象素得到的图象. 正片的互补图象就是负片. 由样本集的各个样本的互补样本构成的样本集称为互补样本集或补样本集.

等相关峰条件是使综合鉴别函数与样本集的各个样本的内积相等, 互补样本集的零相关峰条件就是使综合鉴别函数与这些互补样本的内积为零, 这种改进后的训练样本集 W 的大小是原来的两倍, 训练中所用的常矢量 C 的维数相应增加一倍. 如果改进后的样本集中的样本是这样安排的: 前半部分是所用的样本, 后半部分是前半部分的互补样本. 那么, 按照等相关峰和零相关峰的训练条件, 相应的常矢量 C 的前半部分的分量是指定的常数, 后半部分的分量全为零. 求解综合鉴别函数的关系仍表示为 (4) 式.

由于这种改进方法对样本和互补样本都进行训练, 正是通过对样本的互补样本的训练来提高综合鉴别函数的鉴别率. 这种改进方法与现有的方法使用相同的数学表达式来求综合鉴别函数, 只是样本集矩阵 W 的行数增加了一倍.

4 基于综合滤波器的模式识别系统

本文提出的基于综合滤波器的模式识别系统如图 1. 该系统的训练过程是: 用指纹获取

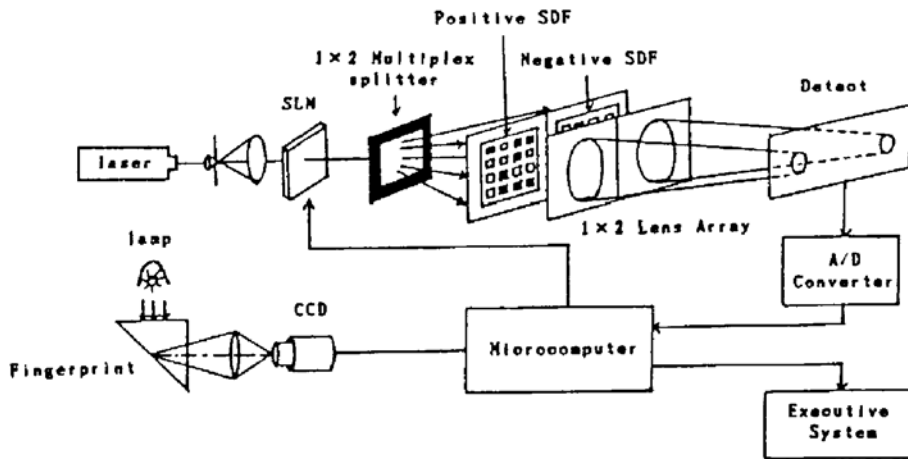


Fig. 1 SDF-based pattern recognition system

的实时装置获取同一指纹多次捺印的指纹图象,经计算机作二值化预处理后作为样本集.该样本集包含十个样本,每个样本的大小是 (128×128) 的二值图象.用现有的等相关峰条件训练得到通常的综合鉴别函数.把综合鉴别函数做成综合滤波器,即完成训练过程.训练过程中对双极性的考虑是把它分成正负两个滤波器,对多灰度级的考虑是进行二值化处理.

在图1中,空间光调制器SLM是光电混合处理的接口器件,1×2分束器是把自SLM来的输入图象分成两个完全相同的图象,沿两个通道前进,一个通道与综合滤波器正值部分作内积,另一个通道与综合滤波器的负值部分作内积,二者的输出经A/D转换送计算机进行处理,最后作出决策.

本文提出的改进的综合滤波器的训练过程与通常综合滤波器的方法相同,只是同时增加对样本集的互补样本进行零相关峰条件的训练而已.求出样本集的互补样本集,对样本集进行等相关条件训练的同时,对补样本集进行零相关峰条件训练,由此求得改进的综合鉴别函数.把综合鉴别函数做成滤波器,即完成训练过程.

一旦对样本集的训练得到了综合鉴别函数,并把它做成综合滤波器,就可以在识别系统中长期使用,终身不变.因此,在训练过程中,在提高综合滤波器的性能方面下功夫是完全值得的,精心地把它做成一个功能专一的系统,这是一劳永逸的事.

显然,本文提出的提高鉴别函数鉴别率的改进方法就是以增加训练样本集的代价来换取的.其实,这种改进并没有给训练增加太多的麻烦,只需对现有的求解综合鉴别函数的程序修改几个参数,以适应更大的样本集即可.

5 实验结果

本文以指纹作为训练和识别目标,用两种方法对多次获取的同一指纹的图象组成的样本集求出综合鉴别函数,对其识别性能的比较是通过它与输入的各种指纹的内积来进行的.识别过程中采用的指纹有:①训练过的样本指纹;②训练样本的互补指纹;③实时获取的与训练样本出自于同一手指的指纹,即同类指纹;④实时获取的其它手指的指纹,即非同类指纹.识别性能的实验比较列于表1.该表给出的数值是识别过程中输入图象与两种综合滤波器之内积.一种是采用本文提出的改进的综合鉴别函数(MSDF: Modified Synthetic Discriminant Function),另一种是采用现有的综合鉴别函数SDF的结果.

Table 1. Experimental results related to MSDF and SDF

Fingerprint No.	MSDF	SDF	Fingerprint No.	MSDF	SDF
1	1.0000110	1.006312	11	0.4539728	0.7217147
2	0.9936012	1.000017	12	0.4481852	0.7185761
3	0.9953260	1.000009	13	0.4303969	0.7021773
4	1.0004512	1.000029	14	0.4201502	0.7001853
5	0.9951961	1.000007	15	0.4530136	0.7183642
6	0.02342589	0.5282158	16	0.4589584	0.7048546
7	0.00856004	0.5301949	17	0.4445896	0.8579323
8	0.00819625	0.5312002	18	0.8346783	0.9579323
9	0.00053988	0.5395637	19	0.9951961	1.000007
10	0.01613976	0.5269060	20	0.8663122	0.8950367

Notes: 1~5 training fingerprint images from a specified personal finger. 6~10 complementary versions of training fingerprint images (used in MSDF training, not in SDF training). 11~17 fingerprint images acquired from other fingers, i. e. interclass fingerprint images. 18~20 fingerprint images acquired from the same finger as the training one, i. e. , intraclass fingerprint images

数学上由(4)式求得的综合鉴别函数是有灰度的,而且常常是双极性的,难于把它在一块模板上做成产品. 如何实现双极性滤波器呢? 最简单的方法是把综合鉴别函数的正值部分与负值部分分开,分别做成两个滤波器. 为解决制作多灰度级的空间滤波器的困难,本文把分开的正负鉴别函数进行二值化,这样得到的二值化的正负滤波器的识别性能的实验结果如表 2. 其中, H_+ , H_- 分别表示综合滤波器二值化后的正值部分和负指部分, MSDF 代表由改进

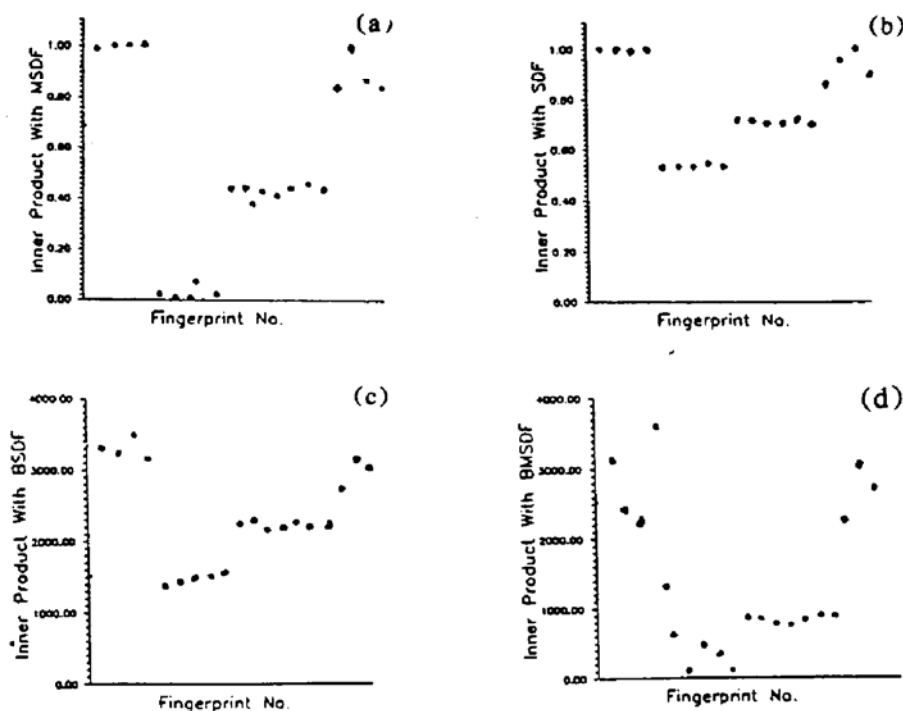


Fig. 2 Recognition results related to SDF and MSDF during recognition phase

的综合鉴别函数做成的综合滤波器.

两种方法的识别性能的比较如图 2(根据表 1 和表 2 的计算结果绘制而成). 图中, BMSDF 和 BMSDF 分别表示 SDF 和 MSDF 正负分开二值化后的的结果, 横坐标是识别时输入指纹的编号, 纵坐标是输入指纹图象与综合滤波器的内积. 因为决策是基于内积来进行的, 故输入指纹与综合滤波器的内积确定它在图中的位置, 可理解为输入指纹经综合滤波器的线性映射在识别空间的映射点.

Table 2. Experimental results related to BMSDF and BMSDF

Fingerprint No.	MSDF			SDF		
	H_+	H_-	$ H_+ - H_- $	H_+	H_-	$ H_+ - H_- $
1	2711.185	175.7046	2535.48	3351.245	0	3351.24
2	3125.404	0	3125.40	3326.174	0	3326.17
3	2620.220	230	2390.22	3264.507	0	3264.50
4	2558.077	305.5266	2252.55	3509.300	0	3509.30
5	3068.181	0	3608.18	3155.478	0	3155.47
6	1146.884	1767.933	621.04	1399.173	0	1399.17
7	1791.647	1916.127	124.48	1429.319	0	1429.31
8	1235.487	1712.694	477.20	1487.030	0	1487.03
9	1311.266	1630.556	319.29	1520.234	0	1520.23
10	1827.210	1926.506	99.29	1567.371	0	1567.37
11	1834.974	963.8803	871.09	2248.441	0	2248.44
12	1820.674	975.2756	845.39	2234.095	0	2234.09
13	1748.679	965.0529	783.15	2139.036	0	2139.03
14	1760.908	987.2907	773.61	2167.835	0	2167.83
15	1828.613	1005.870	822.74	2257.101	0	2257.10
16	1790.056	897.7069	892.34	2211.300	0	2211.30
17	1761.352	871.4582	889.89	2181.937	0	2181.93
18	2457.845	185.0190	2272.83	2700.089	0	2700.08
19	3068.181	0	3068.18	3155.478	0	3155.47
20	2879.303	149.0023	2730.30	3027.345	0	3027.34

Notes: 1~5 training fingerprint images from a specified personal finger. 6~10 complementary versions of training fingerprint images (used in MSDF training, not in SDF training). 11~17 fingerprint images acquired from other fingers, i. e. interclass fingerprint images. 18~20 fingerprint images acquired from the same finger as the training one, i. e., intraclass fingerprint images

从图 2 中看到, 本文提出的改进的综合鉴别函数, 只对同一手指指纹图象的样本集进行训练就非常有效的把它与其它手指的指纹图象在判别空间的映射点的距离拉大了, 显著地提高了综合滤波器的鉴别率, 这正是指纹用于出入控制的识别研究所追求的目标.

6 结 论

本文提出的提高综合鉴别滤波器的有效方法,通过对同类模式样本集的互补样本在零相关峰条件下的训练,有效地把该类模式与所有其它类模式在判别空间中的距离拉开,由此提高识别系统的鉴别率,在另一方面又很好地保持了综合滤波器的畸变不变性识别特性.换句话说,本文提出的这种改进方法兼顾了识别系统的容错性和鉴别率这一对矛盾,即在尽量保持容错性的条件下提高识别系统的鉴别率.

参 考 文 献

- [1] D. Casasent, W. T. Chng, Correlation synthetic discrimination functions. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(14): 2343~2350
- [2] Q. Tian, Y. Fainman, Z. H. Gu *et al.*, Comparison of statistical pattern-recognition algorithms for hybrid processing, I eigenvector-based algorithm. *J. Opt. Soc. Am. (A)*, 1988, **5**(10): 1690~1682
- [3] Z. Q. Wang, W. A. Gillespie, C. M. Cartwright *et al.*, Optical pattern recognition using a synthetic discriminant amplitude-compensated matched filter. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(2): 184~189
- [4] Marce Eleccion, Automatic fingerprint identification. *IEEE, Spectrum*, 1973, **10**(9): 36~45
- [5] E. Oja, *Subspace of Pattern Recognition*. Research Studies Press Ltd., 1983
- [6] H. 尼曼, 模式分类, 第一版, 北京, 科学出版社, 1986: 165~268

An Efficient Approach to Improve Discrimination for Synthetic Discriminant Function

Chen Zikuan Zhang Yanxin Sun Ying Mu Guoguang

(The Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071)

(Received 31 May 1993; revised 31 August 1993)

Abstract We propose a method to improve discrimination for synthetic discrimination function (SDF), which is carried out by training the complementary samples under the condition of zero correlation peaks while the samples under the condition of equal correlation peaks. Therefore, the distances between the trained class and all other classes are increased in the decision space and high discrimination is resulted from. On the other hand, the advantage of the distortion-invariant recognition for synthetic discrimination function is kept as well. Experimental results related to fingerprint identification are given.

Key words synthetic discrimination function, discrimination, intraclass, interclass, complementary sample.