

基于小波尺度搜索的虹膜识别方法

黄惠芳^{1,2},胡广书²

HUANG Hui-fang^{1,2},HU Guang-shu²

1.北京交通大学 计算机与信息技术学院 生物医学工程系,北京 100044

2.清华大学 医学院 生物医学工程系,北京 100084

1.Department of Biomedical Engineering,School of Comp. and Infor. Tech.,Beijing Jiaotong University,Beijing 100044,China

2.Department of Biomedical Engineering,School of Medicine,Tsinghua University,Beijing 100084,China

HUANG Hui-fang,HU Guang-shu.Iris recognition based on wavelet scale search.Computer Engineering and Applications, 2008,44(16):185-187.

Abstract: A new iris recognition method searching for the appropriate wavelet scale is proposed using the bandpass characteristic of wavelets and wavelet transform principles for detecting singularities.The iris image texture is divided into eight bands,and 32 scale continuous wavelet transformation coefficients are quantized to iris codes for each analysis band.Then the Hamming distance is adopted to match two iris codes.The appropriate scale for each band is obtained by searching for the minimum from 32 Hamming distances.The results show that this method achieves an identification rate of 98.15%,and its performance is further improved compared with the one previously proposed.It is promising to be used in a large scale personal identification system.

Key words: iris recognition;wavelet transform;feature extraction;Hamming distance

摘要:利用小波的带通特性和小波变换检测奇异点的原理提取虹膜特征,并在此基础上提出了一种新的搜索合适小波尺度的虹膜识别算法。将虹膜纹理分成8个分析带,对每个分析带进行连续小波变换,取其中32个尺度下的结果量化编码。然后利用Hamming距离进行模式匹配,对每个分析带通过搜索最小的Hamming距离获得合适的尺度。实验结果表明,算法的识别率可达98.15%,同以前提出的算法相比识别性能进一步提高,可用于大规模身份识别系统。

关键词:虹膜识别;小波变换;特征提取;Hamming距离

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2008.16.057 **文章编号:**1002-8331(2008)16-0185-03 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP391.4

随着社会的发展,身份认证越来越受到重视。生物特征识别不同于传统的身份认证方法,它是一种通过计算机将人体自身所固有的生理特征或行为特征收集并进行处理,来进行个人身份认证的技术。生物特征识别已经形成了一个专门的学科和产业。虹膜识别是生物特征识别中新兴的技术,它有很多优点,如识别准确性高、速度快,具有防伪性和非侵犯性等^[1]。虹膜识别已有一定规模的商业应用,如机场检票系统、ATM取款机等,另外在网上支付、门禁保安、远程登录等领域都有很好的应用前景。

1985年,美国眼科学家 Flom 和 Safir 提出了没有两个虹膜是完全相同的概念。Daugman 把这一想法变成了现实,开发了虹膜识别算法,并于1994年获得专利。Daugman^[2]提出利用2D Gabor 滤波器对虹膜纹理进行局部相位量化和编码,这种算法的优点是准确性高、速度快。目前,Iridian Technologies 公司在虹膜识别身份认证产品的研究、开发和销售方面处于国际领先地位,其产品的基础就是 Daugman 算法。在 Daugman 之

后,人们又提出了许多虹膜识别算法,有小波变换法^[3]、纹理分析法^[4,5]、局部变异分析法^[6,7]和独立分量分析法^[8]等。但是大部分算法还处在研究阶段,离产品化还有很大差距。因此,有必要研究快速而准确的虹膜识别算法。

笔者曾提出一个基于二进小波变换的虹膜识别算法^[9],该算法具有较高的准确性、速度快。然而二进小波变换的尺度跨越比较大,对信号的分析略显粗糙。因此,在这个算法的基础上,又提出了一种搜索合适小波尺度的虹膜识别算法,可以进一步提高识别性能。

1 基于小波尺度搜索的虹膜识别算法

虹膜识别算法包括3个部分:虹膜图像预处理、特征提取和模式匹配。

1.1 虹膜图像预处理

虹膜图像可以通过 CCD 摄像头及图像采集卡输入计算机中,图像为640×480的8位灰度图像,图1(a)为采集到的一幅

基金项目:北京交通大学校科技基金资助(No.2004SM011)。

作者简介:黄惠芳(1973-),女,讲师,主要从事医学图像处理、医学信号处理、生物特征识别的研究工作。

收稿日期:2008-01-06 修回日期:2008-03-20

虹膜图像。在采集到的图像中虹膜占较大部分,但还包括眼睛周围的区域。而且每次虹膜在图像中的位置、大小以及虹膜的面积都不一样。因此在提取虹膜特征之前,需要对虹膜图像进行预处理,分割出虹膜,并补偿平移、大小及瞳孔缩放引起的变异,将虹膜图像归一化。

1.1.1 虹膜定位

虹膜定位,包括虹膜内边界的定位和外边界的定位。虹膜内边界也就是瞳孔的边界,瞳孔呈圆形,可以用瞳孔的中心坐标及半径表征。圆形边缘检测器检测圆形的效果比较好,但是如果对整幅图像搜索,却极为费时。提出了一种新的粗定位与精定位相结合的方法来快速定位瞳孔的中心及半径,这样可以减少定位搜索的盲目性及计算时间,同时可以避免采用较为复杂的定位过程。先通过粗定位找到瞳孔的大致位置,然后在这个位置附近较小的范围内利用圆形检测器进行精定位,从而找到瞳孔的精确位置及半径。这样定出的参数可达到单像素精度,有利于精确的匹配。虹膜外边界的定位比较简单,尽管虹膜略偏向于鼻侧,与瞳孔是不同心的,但是在相同的水平位置上,因此可以先求出瞳孔中心到虹膜左右边界的距离,然后再通过简单的计算求出虹膜外边界的中心坐标和半径。瞳孔中心到虹膜左右边界的距离可以利用类似的边缘检测器求出。通过虹膜定位,就将虹膜从图像中分离出来,如图 1(b)所示。

1.1.2 虹膜图像归一化

为了实现精确的匹配,还要对图像进行归一化,补偿大小和瞳孔缩放引起的变异。虹膜的内外边界都为圆形,可以简单地利用几何方法归一化。以瞳孔圆心为起点,与虹膜内外边界的交点坐标分别为 $(x_p(\theta), y_p(\theta))$ 和 $(x_s(\theta), y_s(\theta))$,则射线上两个交点之间的任何一点都可以用它们的线性组合表示。这样可将虹膜图像中的每个点一一映射到极坐标 (r, θ) 中去。其中, $r \in [0, 1], \theta \in [0, 2\pi]$ 。由于上眼皮和上睫毛会部分地遮挡虹膜顶端,为了排除这一部分,以瞳孔为中心,逆时针截取 180° 到 360° 的虹膜区域。然后将截取的虹膜区域在极坐标系中展成矩形,使矩形的行对应半径,矩形的列对应所取的角度,虹膜图像展成的大小为 40×256 ,如图 1(c)所示。由图 1(c)看出,虹膜纹理从瞳孔内侧起沿半径方向由细及粗,不同的空间特征在多个尺度上非常明显。因此,为了捕获虹膜的空间细节,将虹膜图像沿半径方向分成 8 个带,每个分析带有 5 行数据。同时为了避免数据不稳定,将每个分析带的 5 行数据的对应数值相加求平均值,这样每个分析带将产生长度为 256 点的一维信号。输入的数据量总共为 256 个字节。

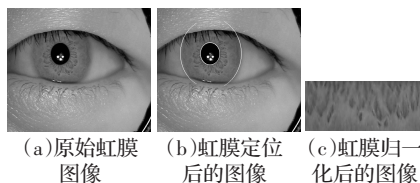


图 1 图像预处理

1.2 虹膜特征提取

1.2.1 虹膜特征提取原理

本文利用小波的带通特性和小波变换检测奇异点的原理来提取虹膜特征。小波函数族实际上是一组具有带通特性,但具有不同频率选择特性的函数组成的函数族;对信号作小波分解就相当于用一组具有不同频率选择特性的带通滤波器对信号进行滤波。利用小波变换提取虹膜特征就是对虹膜纹理进行

带通滤波。这一方面可以滤掉直流分量,使计算出的虹膜特征独立于照明强度;另一方面还可以滤掉高频分量,消除纹理信号中的高频噪声,因而能够可靠地提取虹膜纹理特征。

虹膜纹理信号表现为不同位置的峰和谷,峰和谷也是信号幅度发生明显变化的地方,是纹理信息中最有意义的特征。通过小波变换只是将虹膜纹理特征更加突现出来,进一步需要构造特征量。小波变换对信号奇异点的检测有如下结论:(1)如果 $\psi^{(1)}(t)$ 是某一低通平滑函数的一阶导数,则可用 $\psi^{(1)}(t)$ 对信号进行小波变换,此时小波变换的过零点就是信号的极值点,而小波变换的极值点所对应的是信号的转折点。(2)如果 $\psi^{(2)}(t)$ 是某一低通平滑函数的二阶导数,则可用 $\psi^{(2)}(t)$ 对信号进行小波变换,此时小波变换的极值点就是信号的极值点,而小波变换的过零点所对应的是信号的转折点^[10]。构造特征量时,当检测到小波变换的过零点时,直接根据信号的正负符号将各个分析带的小波变换量化。当检测到小波变换的极值点时,需要根据小波变换信号是上升还是下降来量化,如果信号由极小值向极大值变化,量化为 1,相反信号由极小值向极大值变化,量化为 0。

1.2.2 基于小波尺度搜索的虹膜识别算法

提出的算法是以固定尺度的小波算法为基础,因此下面先简要介绍这个算法,然后在此基础上引出搜索小波尺度的算法。二进小波变换是常用的多分辨率分析方法,应用极为广泛。二进小波变换的分析尺度是按 2 的幂级数离散取值的,可以采用 Mallat 算法快速实现。固定尺度的小波算法利用二进小波变换提取虹膜特征,每个分析带只选用一个合适尺度的小波。经过实验发现,特征分量主要集中在尺度 2^3 和 2^4 上,因此,前 4 个分析带用尺度 2^3 的小波,后 4 个分析带选用尺度 2^4 的小波。此时,小波变换曲线比较平滑,特征分量突出,而大多数噪声信号被抑制。

然而二进小波变换的尺度跨越比较大,对信号的分析略显粗糙。为此,对于每一个分析带,希望在 0.2~6.4 尺度范围内找到最合适的尺度,使相同虹膜间的 Hamming 距离更小。此时采用的小波变换是连续小波变换(CWT)。计算连续小波变换最简单的方法是用数值积分的方法, MATLAB 里的连续小波变换函数利用的就是这种方法。对于每个分析带,新算法增加了对尺度的搜索,尺度步长是一个重要参数。尺度步长为 0.2,共 32 个尺度。Marr 小波是一种检测局部性能较好的小波,属于 $\psi^{(2)}(t)$ 型小波,采用 Marr 小波提取纹理特征。首先对每个分析带计算出连续小波变换,从中抽取所需的 32 个尺度下的小波变换,然后将它们量化形成虹膜码,大小为 32×256 个字节。

1.3 模式匹配

虹膜图像被编码后,需要进行模式匹配。可以利用 Hamming 距离比较两个虹膜码间的距离,任两个虹膜码间的 Hamming 距离定义为:

$$HD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_j(XOR) B_j \quad (1)$$

即将不同的虹膜码进行按位异或比较。其中, A 和 B 表示不同的虹膜码, j 表示虹膜码的位,范围在 $1 \sim N$ 。虹膜码有 8 个分析带,每个分析带有 32 段编码,每段编码为 256 位。两个虹膜码间的 Hamming 距离需要先计算每个分析带下对应段的 Hamming 距离,在 32 个 Hamming 距离中找出最小的一个作为该分析带的 Hamming 距离。8 个分析带共有 8 个 Hamming 距

离,两个虹膜码间的 Hamming 距离就是 8 个 Hamming 距离的平均值。

由于头部或照相机倾斜、眼睛扭转使虹膜转动时,会造成虹膜码段的量化结果有移位。因此需要对两个虹膜码段进行移位比较,从这些移位比较中,找出一个最小的 Hamming 距离值,作为每段的 Hamming 距离。

2 实验结果及讨论

为了测试算法的性能,构建了一个中等大小的虹膜图像库。它包括 90 个不同虹膜的各 4 幅图像,共由 360 幅图像组成,其中有 37 个人的双眼虹膜,16 个人的单眼虹膜。在虹膜图像库中,不是所有的虹膜图像质量都比较好,有少量成像较模糊的图像,也有部分存在下眼皮遮盖和上睫毛遮盖的虹膜图像。如图 2 所示,(a)成像质量较好的图像,(b)为成像较模糊的图像,(c)为有下眼皮遮盖的图像,(d)为有上睫毛遮盖的图像。

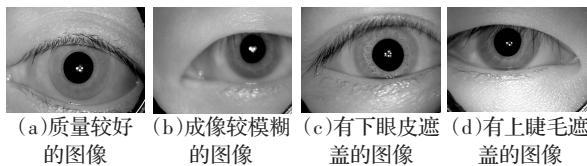


图 2 虹膜图像

2.1 实验结果

测试算法在验证和识别两种模式下的性能。

在验证模式下,将所有虹膜两两之间进行比较,除了各图像和自己比较的以外,一共比较了 64 620 次。其中相同虹膜间的比较有 540 次,不同虹膜间的比较有 64 080 次。在不同的阈值下,分别计算出错误拒绝率(FRR)和错误接受率(FAR)。

表 1 为算法在不同阈值下的 FRR 和 FAR,阈值在 0.22 以下,FAR 都为 0。阈值如果取相同虹膜和不同虹膜 Hamming 距离的平均值的中点 0.225 4,此时 FRR 为 1.48%,FAR 为 0.001 6%。在实际应用中,错误接受比错误拒绝会带来更大的危害。因此,为了避免误接受,阈值取为 0.22,FRR 为 1.67%。可见算法在错误接受率为 0 时,错误拒绝率很低,适合安全性较高的场合。

表 1 算法在验证模式下的错误率

阈值	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24
FRR/%	14.63	10.19	6.67	5.00	2.78	1.67	1.48	1.30
FAR/%	0	0	0	0	0	0	0.001 7	0.011

在识别模式下,将虹膜图像分为 4 组,每组为 90 幅各不相同的虹膜图像。将 GROUP1 看作是标准虹膜模板,GROUP2、GROUP3、GROUP4 作为测试的虹膜图像。测试时,每个虹膜与 GROUP1 的所有虹膜模板比较,取 Hamming 距离最小的结果与上面提到的阈值 0.22 比较。如果结果大于阈值,就拒绝;如果结果小于阈值,就接受。这样共测试 270 次,其中被拒绝 5 次,识别率可达到 98.15%。进一步可以通过多次尝试的方法提高识别率。首先将 GROUP2 里的所有虹膜图像与所有的模板进行比较,遇到被拒绝的图像,就从 GROUP3 里选择相应的虹膜图像再进行比较,依次类推。这相当于每个虹膜图像如果被拒绝可以连续比较 3 次,如果在这 3 次里被接受,就算作成功的识别,结果见表 2。其中,FRR(1)表示第 1 次的错误拒绝率,其它 FRR(2)、FRR(3)依次类推。可以看出,用 GROUP1 图像

进行测试时,错误拒绝率较高,但可以通过第 2 次和第 3 次的尝试获得更高的识别率。

表 2 算法在识别模式下的错误率

阈值	总实验次数	FRR(1)/%	FRR(2)/%	FRR(3)/%	FAR 次数	FAR/%
0.22	94	2.22	1.09	1.08	0	0

2.2 与固定尺度小波算法的比较

以 360 幅图像组成的虹膜图像库作为测试数据库,将基于小波尺度搜索的新算法同固定尺度的小波算法进行比较。

判定性指标 d' 可衡量两个分布在多大程度上分离,因为识别出错率由它们之间的重叠引起。如果两个分布的均值为 μ_1 和 μ_2 ,标准方差为 δ_1 和 δ_2 ,则 d' 定义为:

$$d' = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sqrt{(\delta_1^2 + \delta_2^2)/2}} \quad (2)$$

这种度量独立于所使用的阈值。 d' 越大越好,表示可信度大。两种算法的比较结果见表 3,从表 3 可以看出,新算法相同虹膜间的 Hamming 距离均值变小,为 0.126 2,但同时不同虹膜间的 Hamming 距离也变小,为 0.324 5。尽管这样,由于虹膜间的 Hamming 距离偏差很小,相同虹膜为 0.039 3,不同虹膜为 0.017 4,因此用 d' 来衡量,新算法的 d' 值大于固定尺度的小波算法,识别性能更高。

表 3 两种算法的比较

算法	新算法	旧算法
判定性指标 d'	6.527 8	5.570 3
相同 虹膜 HD 均值	0.126 2	0.193 2
不同 虹膜 HD 偏差	0.039 3	0.051 7
相同 虹膜 HD 均值	0.324 5	0.412 1
不同 虹膜 HD 偏差	0.017 4	0.020 4

3 结论

将 Hamming 距离最小化与小波尺度搜索结合起来考虑,可以使相同虹膜和不同虹膜间的距离方差变小。同固定尺度小波算法相比,虽然编码数据量增大,识别速度变慢,但识别性能更高。同时,算法对于模糊的虹膜图像及存在眼皮和睫毛部分遮挡的情况也可以有效地识别。

由于设定小波尺度搜索的范围局限于 0.2~6.4,某些尺度可能不能很好地提取虹膜特征,进一步应研究如何设定合适的搜索范围。未来,算法应在不同的虹膜图像库下进行测试。

参考文献:

- [1] Williams G.Iris recognition technology[J].IEEE Aerospace and Electronics System Magazine,1997,12(4):24-29.
- [2] Daugman J.High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence[J].IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1993,15(11):1148-1161.
- [3] Boles W,Boashash B.A human identification technique using images of the iris and wavelet transform[J].IEEE Transactions on Signal Processing,1998,46(4):1185-1188.
- [4] Ma L,Wang Y,Tan T.Iris recognition based on multichannel Gabor filtering[C]//Proceedings of 5th Asian Conf Computer Vision, 2002,1:279-283.