

特征脸空间中夹角最小法则的人脸识别算法

A Novel Minimal Angle Face Recognition Algorithm on Eigenface Space

(1.中国科学院等离子体物理研究所(合肥);2.解放军炮兵学院(合肥))徐从东^{1,2} 罗家融¹ 肖炳甲¹
Xu, Congdong Luo, Jiarong Xiao, Bingjia

摘要:特征脸方法是人脸识别领域中的一种重要方法。本文在特征脸的基础上提出了一种新的方法,在特征脸空间,用向量之间的夹角来衡量图像之间的相似度,用最近邻法对图像进行分类和识别。我们用 ORL 提供的标准人脸库进行了测试,并与传统的特征脸方法进行了比较。结果表明,新方法的识别正确率明显高于传统特征脸法。

关键词:人脸识别;特征脸;夹角最小法;最近邻法

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

Abstract: Eigenface is an important approach in the field of face recognition. In this paper, a new approach is presented on the basis of eigenface. It uses the angle between vectors of eigenface space as the similarity between face images, then recognizes and classifies face image by the nearest neighbor algorithm. In experiments on ORL face database, the new approach is compared to the traditional eigenface. The result shows that the new approach gets higher recognition rates than traditional one significantly.

Keywords: face recognition, eigenface, minimal angle, the nearest neighbor algorithm

1 引言

近年来,随着计算机技术的迅速发展,生物特征的自动识别技术得到广泛研究与开发,如指纹识别、掌形识别和眼睛虹膜识别等。人脸自动识别是基于脸像的身份鉴别,旨在使计算机具有通过脸像来鉴别身份的功能,是一种依托于图像理解、模式识别、计算机视觉和神经网络等高技术的智能系统,与其它人体生物特征识别技术相比具有直接、友好、方便的特点,是最自然直接的手段,易于为用户所接受。

常用的人脸识别方法可分为全局匹配方法和基于特征的结构匹配方法。全局匹配方法是用整个人脸区域作为输入,作为一个整体与已知人脸数据库进行匹配,如特征脸法等。基于特征的结构匹配方法是根据人脸中的局部特征在人脸图像中的位置及各自自身的结构特点对人脸图像进行识别,如隐马尔可夫模型法等。这两类方法经常交互在一起使用。特征脸方法将人脸图像作为高维空间的一个向量,经过离散 K-L 变换,映射到各分量互不相关的较低维的特征空间中,再用平均欧氏距离来度量图像之间的相似性。本文将原始人脸空间的人脸图像映射到特征脸空间后,用映射后的向量之间的夹角来度量人脸图像之间的相似性,结合最近邻法则对图像进行分类与识别。

2 特征脸空间的构造

人脸图像中包含着大量有意义的人脸局部和全

局特征信息,这些特征不仅包含如眼睛、鼻子、头发等仅凭人的直觉就能感受到的特征,还包含其它一些人的直觉没法体会的重要特征。这些特征以一定的形式分布在人脸图像中,我们希望找到人脸图像分布的主要成份,对这些主要成份进行分析构造判别函数,进而对人脸图像进行分类和识别。特征脸方法首先将人脸图像映射为高维空间的向量,然后应用基于统计的离散 K-L 变换方法,构造一个各分量互不相关的特征空间,即特征脸空间,再将人脸图像在高维空间中的向量映射到特征脸空间,对这些映射后的向量构造相似性度量方法,进行分类与识别。

设有一组人脸图像 T_1, T_2, \dots, T_M , 其中, $(n=1, 2, \dots, M)$ 表示一个二维 $N \times N$ 的灰度图像,则可将它们转化为向量形式,得到 M 个 N^2 维向量 $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_M$, 以此作为训练集。训练集的平均脸可定义为

$$\Psi = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Gamma_n \quad (1)$$

用向量 $\Phi_n = \Gamma_n - \Psi$ 来表示每幅人脸图像与平均脸的差。构造人脸图像集的协方差矩阵:

$$C = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Phi_n \Phi_n^T = AA^T \quad A = [\Phi_1 \quad \Phi_2 \quad \dots \quad \Phi_M] \quad (2)$$

对协方差矩阵 C 进行特征值分解,求出它的特征值 $\lambda_i (i=1, 2, \dots, M)$ 和特征向量 $v_i (i=1, 2, \dots, M)$ 。由这些特征向量所构成的空间称为特征空间。该特征空间是从人脸图像构造的基本集中求出来的特征向量构造的,它足以描述受控条件下的人脸图像,因此可以用它作为人脸识别的工具。实际情况下,在进行人脸分类与识别过程中,不需要精确地构造人脸图像,因此,我们可以从以上求得的 M 个特征向量中取出对构造人脸影

徐从东:博士研究生

基金项目:国家发展计算委员会资助项目(19981303)

响最大的 M' 个,这样就可以构造了一个原始的 N^2 维图像空间的 M' 维子空间,这个 M' 维子空间称为特征脸空间。

设有一幅人脸图像 Γ 将它映射到的第 k 维上:

$$\omega_k = u_k^T (\Gamma - \Psi) \quad k = 1, 2, \dots, M' \quad (3)$$

由此构成的向量 $\Omega^T = [\omega_1 \ \omega_2 \ \dots \ \omega_{M'}]$ 就是这幅人脸图像在特征脸空间中的映射。

3 确定相似性度量方法

对于特征脸空间的向量进行分类识别,实际上就是要确定一种相似性度量方法,求出各向量的相似性,进而确定待分类识别的向量是否属于已知类。

常用的相似性度量方法是欧氏距离法。设在已知人脸样本库中,有第 k 类人脸 P 个,每个人脸在特征脸空间中的向量为 Ω_p ,取该 P 个人脸的向量 Ω_p 的平均值 Ω_k 为该类的向量的向量。对于某一待分类人脸图像,映射到特征脸空间中的向量 Ω ,则它与第 k 类的欧氏距离为:

$$d_k = \sqrt{\|\Omega - \Omega_k\|^2} \quad (4)$$

当求得的最小的 d_k 小于某一给定的阈值,则这幅人脸图像属于该类。

用欧氏距离作为相似性度量,则意味着把构造的特征空间看作为各相同性的,它所确定的相似性关于平移和旋转具有不变性,但对于放大和缩小这些线性变换会使距离发生畸变。而对于用特征脸方法进行人脸识别,对各向量进行比例缩放,就相当于图像的亮度发生变化,也就相当于外界的光照条件发生变化,这在人脸图像的采集过程中不可避免。为此,我们可以设想对于不同的向量,它们之间的夹角与向量的长短无关,只与向量的方向有关,对于向量的放大与缩小这些使距离发生畸变的线性变换,并不影响向量的方向,从而不会对两向量之间的夹角产生影响。因此,当外界的光照条件发生变化时,即对向量进行比例缩放,人脸图像之间的相似性并不发生变化。

在此,我们把相似性函数定义为两个向量之间的归一化内积,对于某一待分类人脸图像在特征脸空间中的向量 Ω 与第 k 类人脸图像的在特征脸空间中的向量 Ω_k 之间的相似度为:

$$s_k = \frac{\Omega^T \Omega_k}{\|\Omega\| \cdot \|\Omega_k\|} \quad (5)$$

实际上 S_k 表示的是向量 Ω 与 Ω_k 之间的夹角余弦, S_k 越大,表示两者之间的夹角越小,相似性越大。当 S_k 小于某一给定的阈值,则这幅人脸图像属于该类。

4 最近邻法则

最近邻法则是一种根据样本提供的信息,直接进行决策的分类和识别方法,设有一组 n 个样本:

$$\mathfrak{R} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$$

每个样本都已标以类别标志。如果在这 n 个样本

中与待分类样本 X 相距最近的一个样本为 $X'_n \in \mathfrak{R}$,则把 X 分到 X'_n 所在的类别中去。为此我们用这样的判别函数来表示最近邻法则。设有 c 类模式样本 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_c$ 。每类有样本 n_i 个, $i=1, 2, \dots, c$, 则最近邻法则的判别函数为:

$$g_i(X) = \min \|X - X_{ik}\| \quad k = 1, 2, \dots, n_i \quad (6)$$

于是决策法则就是:

若有 $g_i(X) < g_j(X)$, $i \neq j$, 则把 X 分到第 i 类去。

对于基于夹角最小法则的特征脸人脸识别,用最近邻法的判别函数为

$$s_k = \max \left(\frac{\Omega^T \Omega_{kp}}{\|\Omega\| \cdot \|\Omega_{kp}\|} \right) \quad p = 1, 2, \dots, P \quad (7)$$

其中 Ω 为待识别人脸在特征脸空间中的向量, Ω_{kp} 表示样本集中的第 k 类的第 p 个人脸在特征脸空间中的向量。如果 $S_k > S_j$, $j=1, 2, \dots, K$, 则该待识别的人脸属于第 k 类。

5 实验及结果

为了对上述的识别方法进行实验与比较,我们用 ORL 提供的标准人脸库。ORL 标准人脸库由 40 人,每人 10 幅 112×92 图像组成。这些图像是拍摄于不同时期的;人的脸部表情和脸部细节有着不同程度的变化,比如,笑或不笑,眼睛或睁或闭,戴或不戴眼镜;人脸姿态也有相当程度的变化,深度旋转和平面旋转可达 20 度。人脸的尺度也有多达 10% 的变化。图 1 是 ORL 人脸库中某人的 10 幅图像。



图 1 ORL 人脸库中某人的 10 幅图像

实验中,我们首先将 112×92 的 400 幅人脸图像转化 92×92 大小的人脸图像,再为分别以每人前 3 幅、5 幅、7 幅图像作为训练样本,分别以其余的 7 幅、5 幅、3 幅图像作为测试样本,分别采用平均欧氏距离法和夹角最小的最近邻法对它们进行训练和识别,得到如下表 1 所示的结果。

表 1 两种特征脸法的实验结果

识别方法	平均欧氏距离法			夹角最小的最近邻法		
每类训练样本数	3	5	7	3	5	7
每类识别数	7	5	3	7	5	3
识别正确率	0.81071	0.845	0.89167	0.85357	0.915	0.95833

从上表可以看出,第一种方法当学习样本为每人 3 个时,系统识别的正确率为 0.81,当学习样本数量增加到每人 7 个时,系统的识别正确率达到 0.89。第二种方法当学习样本为每人 3 个时,系统识别的正确率为 0.85,当学习样本数量增加到每人 7 个时,系统的识别正确率达到 0.96。(下转第 285 页)

本文作者创新点: 在高效无泄漏流程泵测控台的轴径力数据采集系统中, 采用分组多点桥接测试法时, 各组数据只能分时采集。如采用分立多路转换方式, 采样数据与实际值有较大的误差, 采样数据须进行误差补偿处理, 测控工作台的调整工作难度较大, 有时甚至需要手工做数据校正。

根据“特种流体”的属性和传输过程对技术性能的要求以及泵轴径受力情况复杂的特点, 为了提高测试系统的工作性能, 作者采用了自带校准功能、ADC DMA 工作方式的AD μ C812 单片集成数据采集系统作数据采集系统的主要核心器件, 大大地提高了系统的各项指标, 使采样数据极大的逼近实际值, 用户能够方便的进行系统参数的标定, 进行软件升级, 系统工作的可靠性也得到了较大的提高。在新型高技术产品高效无泄漏流程泵系列化、标准化、通用化上, 取得了满意的效果。

参考文献:

- [1]李刚, AD μ C8XX 系列单片机原理与应用技术. [M] 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001
 - [2]李刚, 于学敏, 高性能单片机 AD μ C812 [J]天津: 电子质量, 2002; 03(28-33)
 - [3]李素芬, 李刚, 孟亚丽, AD μ C812 中串口及其应用[J]天津: 电测与仪表, 2001; 10(37-43)
 - [4]沈羽, 齐伟民, 张毅. 实时高速数据采集与存储系统的一种实现方法[J]. 微计算机信息, 2006, 1-1
 - [5]张永强, 刘富军, 李学东. 应变实验数据采集与处理系统的硬件设计与实现[J]. 微计算机信息, 2005, 1
 - [6]Analog Devices Inc. MicroConverterTM, Multichannel 12-Bit ADC with Embedded FLASH MCU AD μ C812, Ver 2.0 [Z]September 1999
 - [7]Analog Devices Inc. AD μ C812 User' s Manual, [Z]2000
 - [8]Analog Devices Inc. MicroConverterTM, SPI Serial Port[Z], 1999
- 作者简介: 骆耀祖, (1948-), 男, 广东广州人, 韶关学院信息工程学院高级工程师。目前研究方向: 嵌入式操作系统, E-mail: sgulyz@tom.com; 李强(1964-), 男, 甘肃兰州人, 哈尔滨工业大学计算机应用硕士, 广东韶关学院信息工程学院高级工程师。在某研究所从事十余年计算机硬件应用开发方面的工作, 主要研究方向: 嵌入式应用系统, 嵌入式操作系统, Email: sgulq2003@mail.china.com。

(512005 广东韶关 广东韶关学院计算机系) 骆耀祖
李强

(Department of Computer, Shaoguan University, Guangdong, China, 512005) Luo, Yaozu Li, Qiang

通讯地址: (512005 广东省韶关市广东韶关学院计算机系) 骆耀祖

(收稿日期: 2006.2.10)(修稿日期: 2006.3.8)

(上接第 298 页)

可见, 随着学习样本数量的增加, 两种特征脸法进行人脸识别的正确率都有明显的提高。而当学习样本相同时, 第二种方法的系统识别正确率明显高于第一种方法。

5 结论

本文在传统的特征脸方法的基础上提出了一种夹角最小的最近邻法对人脸进行分类识别, 构造了判别函数。

在 ORL 标准人脸库上进行实验, 分别用传统的特征脸法和新方法在不同的学习样本条件下进行计算和识别, 结果表明, 在相同的识别身份数量的情况下, 随着学习样本数量的增加, 两种方法的识别正确率都逐步提高; 在相同的学习样本数量的条件下, 新方法明显优于传统的识别方法。

本文的创新点: 提出在传统的特征脸空间用夹角最小的最近邻法对人脸进行分类识别, 构造了判别函数, 进行了仿真计算, 并与传统的方法进行了比较。

参考文献:

- [1]M.Turk and A. Pentland. Eigenfaces for recognition. Journal of Cognitive Neuroscience, 1991, 3(1):72 - 86
- [2]L. Chen, H. Liao, M. Ko, J. Lin, and G. Yu. A new LDA-based face recognition system which can solve the small sample size problem, Pattern Recognition, 2000, 33 (10), pp. 1713-1726
- [3]M.H.Yang. Kernel Eigenfaces vs kernel Fisherfaces: face recognition using kernel methods. Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (RGR'02), Washington DC, May, 2002. pp. 215 - 220.
- [4]冯素玲. 人脸识别常用方法研究. 微计算机信息. 2004. 20(5): 94-95
- [5]郭群, 王志良, 郭建波. 视频图像中的人脸识别. 微计算机信息. 2005. 21(3): 183-184
- [6]周杰, 卢春雨, 张长水, 李衍达. 人脸自动识别方法综述. 电子学报. 2000. 28(4): 102-106.
- [7]杨光正. 模式识别. 合肥: 中国科技大学出版社. 2001

作者简介: 徐从东(1971-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为模式识别、图像处理, Email: congdong@ipp.ac.cn; 罗家融, 研究员、博导; 肖炳甲, 研究员、博导。

(230031 合肥市中国科学院等离子体物理研究所) 徐从东 罗家融 肖炳甲

(230031 合肥市解放军炮兵学院) 徐从东

(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031) Xu, Congdong Luo, Jiarong Xiao, Bingjia

(Artillery Academy of PLA, Hefei 230031) Xu, Congdong

通讯地址: (230031 合肥市 1126 信箱中科院等离子体物理研究所计算机应用研究室) 徐从东

(收稿日期: 2006.2.9)(修稿日期: 2006.3.8)