

# 基于 Gabor 小波和 LBPH 的实时人脸识别系统

张伟<sup>1</sup> 程刚<sup>2</sup> 何刚<sup>1</sup> 阎石<sup>1</sup>

(1. 兰州大学 信息科学与工程学院, 甘肃 兰州 730000;  
2. 兰州大学 网络安全与信息化办公室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 针对当前流行的人脸识别算法存在的光照敏感、鲁棒性差等局限性, 为提高识别效率, 提出了一种基于 Gabor 小波和 LBPH 算法的实时人脸识别算法。首先将人脸图像与 Gabor 核函数进行卷积得到人脸特征图像, 并将其串联在人脸特征空间; 然后使用 LBPH 提取该空间人脸特征, 并通过匹配 LBPH 直方图序列的相似度来实现分类。此外, 基于 ARM 平台对文中算法进行实现, 形成了实时人脸识别系统。由于系统使用 MySQL 数据库管理人脸数据, 因此可以实现实时的管理效果。该系统在自建单样本人脸数据库中能达到 92% 的识别率, 相比传统算法识别率更高、实时性更强。

**关键词:** Gabor; LBPH; ARM; MySQL; 人脸识别

中图分类号: TP368.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2019)03-0047-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2019.03.009

## Real-time Face Recognition System Based on Gabor Wavelet and LBPH

ZHANG Wei<sup>1</sup>, CHENG Gang<sup>2</sup>, HE Gang<sup>1</sup>, YAN Shi<sup>1</sup>

(1. School of Information Science and Engineering, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;  
2. Office of Network Security and Information, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Aiming at the limitations of illumination sensitivity and poor robustness for current popular face recognition algorithm, in order to improve the recognition efficiency, we propose a real-time face recognition algorithm based on Gabor wavelet and LBPH algorithm. We first fuse the face feature image obtained by convolution of the face image with the Gabor kernel and concatenate it in the face feature space, and then use LBPH to extract the facial feature of the space and achieve the classification by matching the similarity of the LBPH histogram sequence. Moreover, a real-time face recognition system is established based on ARM platform. As the system uses the MySQL database to manage face data, dynamic management can be achieved. The system achieves 92% recognition rate in self built single face database. Compared with traditional algorithm, it has higher recognition rate and stronger real-time performance.

**Key words:** Gabor; LBPH; ARM; MySQL; face recognition

## 0 引言

人脸识别是指采用机器对人脸图像进行分析处理, 提取有效的人脸信息, 达到身份识别的目的<sup>[1]</sup>。该技术在视频监控、信息安全、身份认证等方面已有广泛的应用<sup>[2]</sup>。

近年来, 基于全局特征提取的子空间方法和局部二值方法取得了巨大的成功。Turk 和 Pentland 提出的 PCA (principal component analysis)<sup>[3-4]</sup> 算法, 为人脸识别奠定了基础。LBP (local binary patterns) 算法的适用面非常广泛, 而且得到了更深层次的发展, 比如在掌

纹识别和双耳区域识别等方面<sup>[5-6]</sup>。然而, 这些方法在光照、表情、姿态等干扰情况下尚未得到良好的解决方案。

传统人脸识别算法在嵌入式平台人脸识别率偏低且添加陌生人脸效率欠佳, 不能满足实际应用的基本需求。

因此, 文中提出基于 Gabor 小波和 LBPH 方法构建实时动态人脸识别系统。首先利用 Gabor 小波提取多方向、多尺度的局部图像特征, 然后将这些特征串联到人脸空间, 并应用 LBP 算子对人脸空间编码, 最后

收稿日期: 2018-03-26

修回日期: 2018-07-27

网络出版时间: 2018-12-19

基金项目: 教育部赛尔网络下一代互联网技术创新项目 (NGII20170602); 高速电子系统与电磁兼容研究教育部重点实验室主任基金 (2017001); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (lzujbky-2018-128)

作者简介: 张伟 (1992-), 男, 硕士, 研究方向为嵌入式。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20181219.1511.028.html>

进行 LBP 直方图统计,以获取最终人脸识别特征。为了实现人脸数据的动态管理,将人脸库和 MySQL 数据库结合起来完成系统开发,并通过实验验证。

## 1 Gabor 小波简介

二维 Gabor 小波能够在时域和频域同时达到对信号分析分辨率的要求,具有提取图像局部信息的能力。此外,由于 Gabor 小波对光照和图像的变形有较好的鲁棒性,所以在图像处理中应用广泛。二维 Gabor 小波的表达式为<sup>[7]</sup>:

$$\varphi_{\mu\nu}(x) = \frac{\|k_{\mu\nu}\|^2}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{\|k_{\mu\nu}\|^2}{2\sigma^2} \cdot \|z\|^2\right] \cdot [\exp(ik_{\mu\nu}z) - \exp(-\frac{\sigma^2}{2})] \quad (1)$$

其中,  $k_{\mu\nu} = \begin{bmatrix} k_x \\ k_y \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} k_v \cos \varphi_u \\ k_v \sin \varphi_u \end{pmatrix}$ ,  $k_v = 2^{\frac{u-1}{3}} \pi$ ;  $z = [x, y]$ ,  $x, y$  为像素点的坐标值;  $\varphi_{\mu\nu} = \mu \frac{\pi}{k}$ ,  $\mu$  确定了 Gabor 内核的方向,  $\nu$  为内核的尺度因子,  $k$  为总方向数;  $\sigma$  是与小波频率带宽有关的常数(通常取  $\sigma = 2\pi$ )。文中采用由 5 个不同的尺度( $\nu \in \{0, 1, \dots, 4\}$ ) 8 个方向( $\mu \in \{0, 1, \dots, 7\}$ ) 构成的 40 个滤波器组进行滤波<sup>[8]</sup>。

## 2 人脸图像的 Gabor 特征提取

研究发现, Gabor 小波在频率和方向上对图像的代表特性与人类视觉系统的有关性很相似。因此, Gabor 小波适宜于图像纹理的表示和判断,能更好地提取人脸特性<sup>[9]</sup>。将人脸灰度图像记为  $I$ , 与二维的 Gabor 核函数做卷积运算,得到人脸图像的 Gabor 特征表示为:

$$w_k(z) = I(z) * \varphi(k, z) \quad (2)$$

其中,  $*$  表示卷积;  $w_k(z)$  为 Gabor 小波人脸, 可以表示为  $w_k(z) = A_k e^{i\varphi_k}$ ,  $A_k$  和  $\varphi_k$  分别是  $w_k(z)$  的幅值和相位。文中提取  $w_k(z)$  幅值特征  $A_k$  (5 个尺度 8 个方向), 并将调整为  $32 \times 32$ , 得到 40 960 个浮点特征向量。

## 3 LBPH 特征提取及人脸识别

目前传统的识别方法与 Gabor 结合, 将每个 Gabor 特征图像看作一个独立图像, 这样做的后果是识别太耗时且识别率不理想<sup>[10]</sup>。文中 Gabor 小波提取的幅值特征图像共有 40 个, 将这 40 幅图像串联到人脸特征空间形成一幅图像。然后, 在人脸特征空间, 以每个像素点  $g_c$  为中心, 使用半径  $R = 1$ , 数量  $P = 8$  的圆形 LBP 采样, 判断采样点  $g_p$  与中心像素点  $g_c$  的差值, 再

编码人脸特征空间。 $p$  由二值线性差值获得, 其与  $g_c$  的差值由式 3 获得。因此, 式 3 十进制转换得到 LBP 编码值, 即式 4<sup>[11]</sup>:

$$S(g_p - g_c) = \begin{cases} 0 & g_p < g_c \\ 1 & g_p \geq g_c \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{LBP}_{P,R} = \sum_{p=0}^{P-1} S(g_p - g_c) 2^p \quad (4)$$

最后, 将人脸特征空间分为 64 个子空间, 每个子空间的浮点特征向量值为 20。设人脸特征子空间为  $f_i(x, y)$ ,  $z \in \{0, 1, \dots, 63\}$ , 直方图为  $H_{\mu\nu}$ ,  $\mu \in \{0, 1, \dots, 7\}$ ,  $\nu \in \{0, 1, \dots, 7\}$ 。每个特征向量的 LP-BH 直方图值为:

$$h_i = \sum \{f_i(x, y) = i\} \quad i = 0, 1, \dots, 255 \quad (5)$$

其中,  $I(A) = \begin{cases} 0 & A \text{ 为假} \\ 1 & A \text{ 为真} \end{cases}$ ,  $i$  为 LBP 算子值。因此

$H_{\mu\nu} = \{h_1, h_2, \dots, h_{255}\}$ , 串联每个  $H_{\mu\nu}$  得到整个人脸特征空间的直方图  $H = \{H_{0,0}, H_{0,1}, \dots, H_{7,7}\}$ <sup>[12]</sup>。

### 3.1 人脸特征匹配

人脸的分类识别是通过匹配 LBPH 直方图序列的相似度来完成的。文中选用最近分类器对 LBPH 提取的人脸特征进行分类, 用 LBPH 特征相似度方差描述两个样本之间的相似程度, 方差越小, 说明两个样本越相似。给定训练样本集  $T_i$  中的样本  $x$  与测试样本集  $T_e$  中的样本  $y$ , 其中 LBPH 特征分类分别为  $H_i$  和  $H_j$ , 且二者的相似度定义如下:

$$d^2(H_x, H_y) = \sum_{i=0}^{a-1} [H_x(i) - H_y(i)]^2 \quad (6)$$

其中,  $a$  为特征向量的长度;  $d^2$  为相似度方差。 $d$  取值越小, 则两个人脸样本越相似。

按照式 6 计算测试样本 LBPH 特征和训练样本 LBPH 特征之间的相似度方差之后, 测试样本应归为对应方差值最小的那一类当中。

### 3.2 基于 Gabor 和 LBPH 算法及人脸识别过程

该系统使用的人脸分类器是由 Viola 和 Jones 提出的基于机器学习的人脸检测算法, 其可以分为三部分: 使用 Harr-like 特征表示人脸, 利用 Adaboost 算法构造人脸检测强分类器, 将训练得到的若干强分类器串联组成一个级联结构的层叠分类器检测人脸<sup>[13]</sup>。系统先加载训练好的人脸库, 再读取摄像头并截取人脸图像。将人脸图像做直方图均衡化的预处理, 然后使用所提算法进行识别。若识别成功则等待下次识别, 若不成功将人脸加载到人脸库中训练。整个算法及识别过程如图 1 所示。

## 4 仿真结果

在 ORL 数据库里, 随机选取每个人一幅、三幅、五

幅、七幅图像作为训练集,再选取另外 40 幅图像作为测试集,经过多次测试,得出最佳人脸识别率。仿真结果如表 1 所示。

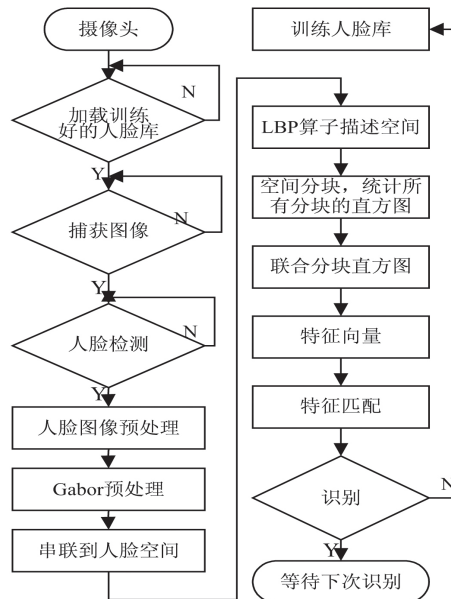


图 1 基于 Gabor 和 LBPH 算法及人脸识别过程

表 1 各方法在 ORL 人脸库的最佳识别率 %

测试算法	1	3	5	7
Eigenface	67	87	92	97
Fisherface	65	87	85	95
LBPH	70	85	90	95
文中算法	90	100	100	100

在 FERET 人脸库,所使用的人脸图像包含 200 个人,每个人 7 幅图像共 1 400 幅正面人脸图像。在 FERET 人脸库中选取一幅、二幅、三幅、五幅图像作为训练样本,其余作为测试样本。表 2 为仿真测试数据。

表 2 各方法在 FERET 人脸库的最佳识别率 %

测试算法	1	2	3	5
Eigenface	78	78	80	82
Fisherface	77	77	65	19
LBPH	74	74	74	76
文中算法	84	84	84	86

在 YALE 人脸库,所使用的人脸图像包含 15 个人,每个人 11 幅图像共 165 幅正面人脸图。选取 YALE 人脸库中的一幅、三幅、五幅、七幅图像作为训练样本,其余作为测试样本。表 3 为仿真测试数据。

表 3 各方法在 YALE 人脸库的最佳识别率 %

测试算法	1	3	5	7
Eigenface	60	80	100	93
Fisherface	40	86	100	88
LBPH	33	80	100	100
文中算法	46	93	100	100

从对比各算法来看,采用文中算法具有更高的识别率,鲁棒性更好,更适合实际应用。

## 5 嵌入式平台实现

选用 Exynos 4412 芯片的嵌入式平台,CPU 为 32 nm 制程,四核 1.4 GHz 主频。该平台配备 1GB DDR3 4 GB 固态硬盘 EMMC 存储,三星 S5M8767 电源管理芯片和 USB 接口,具有低功耗、高性能等特点。系统将嵌入式 QT 作为操作系统。选取 Exynos 4412 作为嵌入式平台开发人脸识别系统时,视频采集部分采用 Linux 下 V4L2 接口。摄像头每秒可以采样 2 幅图像,设备文件在根文件系统/dev 目录下的 Video4 中。视频处理部分采用 OPENCV 视觉库实现算法。移植 MySQL 数据库处理人脸信息等数据。

系统选取了实验室 12 个人的人脸,每人两幅,其中 1 幅作为训练集人脸图像,另一幅用于测试。表 4 为实验测试数据。

表 4 各方法在自建人脸库的最佳识别率

测试算法	最佳识别率/%	识别时间/ms
Eigenface	66	9.15
Fisherface	58	8.75
LBPH	74	55.07
文中算法	92	430.33

另外,笔者测试了将 Gabor 小波的幅特征看作独立样本,再运用 LBPH 提取人脸特征,识别时间为 887.48 ms,实时性较差。实验结果表明,该系统不仅识别时间减少,而且人脸识别率较高。

传统嵌入式平台人为添加人脸耗时较长,不利于嵌入式实时地识别人脸,给用户带来不便<sup>[14]</sup>。该系统会寻求用户编辑人脸信息,可将陌生人脸加入到人脸库并自动进行人脸信息编号。人脸库每次增加一个人就在 MySQL 数据库里增加一行记录,每一行有唯一的编号对应人脸库中的人员信息。该系统先从摄像头采集人脸并对其采集人脸图像做预处理,然后进行识别。若识别成功,则显示人员信息和编号。若识别失败,用户可以输入人脸信息,存储于 MySQL 和人脸库中,从而重新训练人脸库。实时人脸识别过程如图 2 所示。



(1) 识别失败



(2) 识别成功

图 2 实时识别过程

## 6 结束语

提出一种 Gabor 和 LBPH 结合的实时人脸识别算法,识别率高,相应系统具有在线管理方式,节省了人工成本。在 Exynos 4412 嵌入式平台所开发的实时人脸识别系统,充分利用了硬件系统的性能。搭建的小型化人脸识别系统为人工智能、物联网、考勤系统等提供了一种解决方案,有望推广到各类身份识别的应用场景。

### 参考文献:

- [1] 李 健. 基于 Gabor 变换和 LBP 相结合的人脸识别算法的研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2016.
- [2] 吴 帅. 基于 Gabor 滤波器的伸长局部二值模式算法在视频人脸识别系统中的应用研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2016.
- [3] TURK M, PENTLAND A. Eigenfaces for recognition[J]. Journal of Cognitive Neuroscience, 1991, 3(1): 71-86.
- [4] KIRBY M, SIROVICH L. Application of the Karhunen-Loeve procedure for the characterization of human faces[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2002, 12(1): 103-108.
- [5] 岑 瑶, 潘 新, 郝晓晶, 等. 基于 MB-LBP 和 HOG 的掌纹识别[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(3): 920-923.
- [6] 徐 丹, 于 龙, 陈唐龙, 等. 基于 LBP-HOG 特征的接触网旋转双耳区域识别[J]. 铁道科学与工程学报, 2017, 14(2): 370-378.
- [7] 吴凌智, 陈 玮. 基于 MBLBP 和 Gabor 小波的掌纹识别[J]. 软件导刊, 2017, 16(2): 19-22.
- [8] HWANG W, HUANG X, LI S Z, et al. Face recognition using extended curvature Gabor classifier bunch[J]. Pattern Recognition, 2015, 48: 1247-1260.
- [9] LIU Jun, JING Xiaojun, SUN Songlin, et al. Local Gabor dominant direction pattern for face recognition[J]. Chinese Journal of Electronics, 2015, 24(2): 245-250.
- [10] 张 露, 屈诗云, 庄 萧. 基于 Gabor 小波自适应判别的单样本人脸识别[J]. 工业控制计算机, 2015, 28(1): 95-96.
- [11] OJALA T, PIETIKÄINEN M, HARWOOD I. A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions[J]. Pattern Recognition, 1996, 29(1): 51-59.
- [12] 徐向茹. 基于人脸识别身份验证系统的研究与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
- [13] VIOLA P, JONES M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features[C]//Proceedings of the 2001 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. Kauai, HI, USA: IEEE, 2003: 511-518.
- [14] 刘 贝. 基于嵌入式的人脸识别智能门禁系统[D]. 西安: 西安工业大学, 2016.
- [15] ALAMEDDINE H A, SEBBAH S, ASSI C. On the interplay between network function mapping and scheduling in VNF-based networks: a column generation approach[J]. IEEE Transactions on Network and Service Management, 2017, 14(4): 860-874.
- [16] 邵维专, 吕光宏. 网络功能虚拟化资源配置及优化研究综述[J]. 计算机应用研究, 2018, 35(2): 321-326.
- [17] VASSILARAS S, GKATZIKIS L, LIAKOPOULOS N, et al. The algorithmic aspects of network slicing[J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(8): 112-119.
- [18] 肖蔼玲, 王 颖, 孟洛明, 等. 基于知识描述和遗传算法的跨域虚拟网络映射[J]. 软件学报, 2014, 25(10): 2189-2205.
- [19] 刘新波, 王布宏, 刘帅琦, 等. 安全虚拟网络映射的启发式算法[J]. 系统工程与电子技术, 2018, 40(3): 676-681.
- [20] 钱 昭. 浅谈 5G 移动网络切片技术及关键问题研究[J]. 网络安全技术与应用, 2017(12): 99.
- [21] 程 航, 张 磊. 求解最短路问题的改进禁忌搜索算法[J]. 交通科技与经济, 2018, 20(2): 35-38.

(上接第 46 页)

2016, 13(1): 32-42.

- [4] CASELLAS R, MARTINEZ R, VILALTA R. Control, management, and orchestration of optical networks: evolution, trends and challenges view document[J]. Journal of Light-wave Technology, 2018, 36(7): 1390-1402.
- [5] MAMATAS L, CLAYMAN S, GALIS A. Information exchange management as a service for network function virtualization environments[J]. IEEE Transactions on Network and Service Management, 2016, 13(3): 564-577.
- [6] 王海宁, 赵慧玲. NFVO 标准和实践[J]. 电信科学, 2017, 33(4): 3-9.
- [7] LANGE S, GEBERT S, ZINNER T, et al. Heuristic approaches to the controller placement problem in large scale SDN networks[J]. IEEE Transactions on Network and Service Management, 2015, 12(1): 4-17.
- [8] MIJUMBI R, SERRAT J, GORRICO J, et al. Management and orchestration challenges in network functions virtualization[J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 54(1): 98-105.