

改进 SIFT 融合五官特征的旋转人脸检测算法

杨敏, 赖惠成, 董九玲, 班俊硕, 林宪峰

(新疆大学 信息科学与工程学院, 乌鲁木齐 830046)

摘要: 为了有效解决由于采集设备位置不理想或被检测者不知情等情况下, 采集到的人脸图像不是正面的, 进而造成人脸的误检和错检等问题; 首先, 将主成分分析 (PCA) 与尺度不变特征变换 (SIFT) 方法结合, 分别利用 PCA 方法的降维和 SIFT 算法的旋转、平移、缩放及部分仿射不变性快速完成旋转人脸的初检测; 然后, 利用人脸五官特征对人脸进行矫正与标定, 提升检测准确率; 最后, 通过改进 AdaBoost 方法训练人脸分类器并计算关键点匹配率, 完成旋转人脸准确检测; 实验结果表明: 与传统方法相比, 该方法保证了高检测率, 同时错检率也明显下降。

关键词: SIFT 特征; 主成分分析; 五官特征; 改进 AdaBoost; 人脸检测

Face Detection Rotation Based on Improved SIFT Integration of facial features

Yang Min, Lai Huicheng, Dong Jiuling, Ban Junshuo, Lin Xianfeng

(College of Information Science and Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: In order to effectively solve the location of acquisition device is not ideal, collected face image is not positive, and cause false detection and error detection. First, the principal component analysis (PCA) and the Scale Invariant Feature Transform (SIFT) algorithm combined, respectively rotary dimensionality reduction and SIFT algorithm PCA algorithm, pan, zoom, and quickly rotating part affine invariant face early detection. Then, using the facial features of a human face human face correction and calibration, improve face detection accuracy. Finally, the improved algorithm AdaBoost face classifier training and match rate calculation of key points, complete and accurate detection of the rotation face. The results showed that: compared with the traditional method false detection rate was significantly reduced, at the same time ensure a high detection rate.

Keywords: SIFT features; principal component analysis; facial features; binary morphology; improved AdaBoost; face detection

0 引言

图像处理技术^[1]是当前热点话题。其中包括人脸检测^[2]、人脸识别^[3]和人脸图像分割^[4]等各类问题。人脸检测为比较活跃地研究课题, 其正确率会影响系统整体性能和效率。对于正面人脸检测, 当前已经有众多方法可以快速而准确地对其进行检测。但在实际应用中, 很多情况下会因为图像采集设备位置不佳以及被检测者有意或无意的不配合造成采集到的人脸图像不是正面图像。所以, 旋转的人脸检测^[5]研究就显得非常重要。而由于旋转人脸特征复杂, 与之对应的研究相对比较缺乏。Li Stan Z^[6]等人通过改进 AdaBoost 方法来实现旋转人脸检测; Sayantan Thakur^[7]等通过肤色空间的阈值作为限制条件进行人脸检测; 孙圣鹏^[8]等通过自旋图描述对人物图像采取

角度的校正。以上几种算法能够很好的检测正面人脸, 但对于有一定偏转角度的人脸来说仍然有准确率低和误检率高等问题。因此, 为了有效降低旋转人脸检测的漏检率和误检率, 利用 SIFT 算法^[9-10]的旋转不变性, 结合人脸五官特征、PCA^[11]及改进的 AdaBoost^[12]方法训练出较优地人脸分类器, 实现旋转人脸准确定位和检测。

1 算法的基本原理

1.1 SIFT 算法

SIFT 特征 (scale invariant feature transform, 尺度不变特征变换) 作为计算机视觉的一种算法, 用来检测与描述影像之中的局部特征。由于旋转人脸有小角度偏移、旋转特性与五官位置相对不变等优点, 而 SIFT 自身有很强的匹配能力, 能够处理两幅图间的平移、旋转等问题。所以, 利用 SIFT 特征方法提取人脸基本特征尤为合适, SIFT 方法重点包括 4 个方面。

1.1.1 关键点的检测

为了简化计算提高效率, 采用 DoG (Difference of Gaussians, 高斯差分算子) 算子在计算上相邻尺度高斯平滑后图像相减原则近似代替了 LoG (Laplacion of Gaussian) 算子来建立图像地差分尺度空间。在差分图像及尺度 3 维空间中搜索极值点并作为潜在尺度与旋转不变特征点。尺度不相同的高斯函

收稿日期:2015-10-17; 修回日期:2015-11-10。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61561048); 新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目(2015211C257)。

作者简介:杨敏(1990-),男,陕西宝鸡人,硕士研究生,主要从事通信与信息系统,图像处理方向的研究。

通讯作者:赖惠成(1963-),男,四川德阳人,教授,硕士生导师,主要从事通信与信息系统,图像处理等方向的研究。

数与人脸图像卷积运算如式 (1)，而想要更好检测到稳定关键点，用式 (2) 实现，具体过程如图 1 所示。

$$L(x,y,\sigma) = G(x,y,\sigma) * I(x,y) \tag{1}$$

$$D(x,y,\sigma) = [G(x,y,k\sigma) - G(x,y,\sigma)] * I(x,y) = L(x,y,k\sigma) - L(x,y,\sigma) \tag{2}$$

其中： σ 是高斯函数方差， σ 足够小就代表图像平滑越少，尺度就越小， k 是常数。

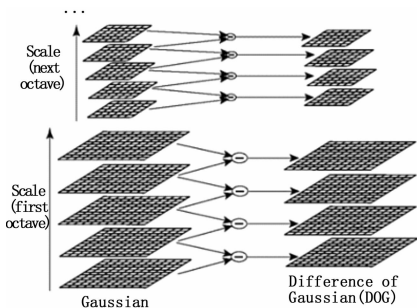


图 1 Gaussian 金字塔与 DOG 金字塔建立过程

1.1.2 关键点的精确定位

想要提升定位精度，就要对得到地所有候选关键点通过更进一步检验，排除掉边缘点与低对比度点才可以准确定位成特征点。可以利用获取特征点处 Hessian 矩阵消除边缘点。

1.1.3 关键点的方向匹配

采用尺度不变性求得极值点，能够让它拥有缩放不变性，采用关键点邻域像素梯度方向的分布特点，为所有关键点确定方向参数。再利用计算所有极值点的梯度给极值点指明方向。

关键点方向确定通过梯度直方图统计法得到，方向直方图生成过程如图 2 所示。

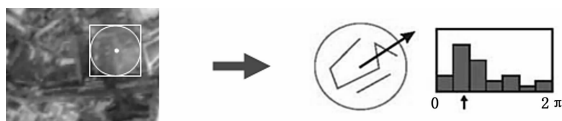


图 2 方向直方图的生成

1.1.4 SIFT 特征向量的生成

把坐标轴旋转成为特征点主方向，将特征点作为中点，取 8×8 窗口，再在 4×4 小块上计算 8 个梯度方向累加值，得出各个方向的直方图，由此得到一个特征描述子，具体如图 3。统计以特征点为中心地局部区域梯度，得到 SIFT 特征向量。

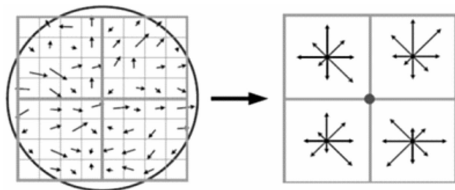


图 3 SIFT 特征描述子的生成

由于 SIFT 特征能较好地体现出图片的特征，就会因为个体的人脸差异使得关键点分布很不相同。如图 4，箭头起点是关键点，箭头长度和方向表示尺度和方向。可以看到，表情、发型等的不同都会对特征点产生影响。所以，单靠 SIFT 法很难很好地完成人脸检测。另外，从图中还可以看出，每张

人脸的眼角，鼻侧、嘴角等处的关键点有一定相似性，表明了这些关键点是可以表示人脸的公共信息的。因此，采用改进的 SIFT 法并与其它方法完美结合是可以完成人脸检测的。



图 4 人脸的 SIFT 特征

1.2 通过 PCA 降维提高 SIFT 方法效率

PCA (principal component analysis) 是常用的基于变量协方差矩阵对信息进行处理与压缩的可靠算法。算法的中心思想是：通过少量数据特征描述样本完成降维。

尽管 SIFT 是一种能力非常强的算子，但算法的复杂度相对较高，对于每个特征点都用 128 维的向量表示，如果一幅图特征较多，就会花费较多时间。所以，考虑到利用降低维度的思想来提升效率。把 PCA 方法与 SIFT 方法互相结合起来节省处理时间。具体的处理方法是：在 41×41 的图像块上来计算 $39 \times 39 \times 2$ 个梯度的导数，获得 3042 维向量之后再利用 PCA 算法将其降到 36 维，这是与 SIFT 方法利用 $4 \times 4 \times 8$ 描述子处理方法不相同的，也因此提高了运算的速度。

2 融合五官特征的人脸检测

人脸特征，特别是眼部和嘴部特征的精确定位是人脸检测、人脸识别以及表情分析等研究的一个重要的环节。一般人脸检测方法经常会出现把背景或者其它不是人脸的区域错判为人脸区，就带来了大量的误检和错检问题，极大地影响了准确率。因此，本文也利用五官特征的眼部与嘴部特征的定位来提升人脸检测正确率。

五官作为人脸主要的特征，我们可通过对比度裁减关键点。这样就可以减少背景及其它非人脸区域对人脸检测的影响，也减少了关键点的数量，提高了效率。在此利用对比度加权和模板融合法裁减关键点。要满足旋转人脸检测，所需的模板也要能够适合于不同角度的人脸，所以模板要具有旋转对称性。而眼部和嘴部关键点对比度会由于光线强弱的不同而不同。这里利用环形模板来克服光照的影响，根据光照强度的不同改变内圈阈值，提高算法对光照的适应度。

为了弥补加权后一些关键点过大或过小，利用高斯归一化法来降低这种影响，具体如式 (3)：

$$\begin{cases} C'_i = [(C_i - \bar{C}) / \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} (C_i - \bar{C})^2 + 1}] / 2 \\ \omega_i^{opt} = \omega_i \times C'_i / C'_{max} \end{cases} \tag{3}$$

其中： \bar{C} 是关键点对比度的平均值， C_i 是第 n 个关键点的对比度， C'_i 是 C_i 归一化之后的值， C'_{max} 是归一化之后对比度的最大值， ω_i 是关键点权值， ω_i^{opt} 是对比度的最终值。采用这种算法可以定位出眼部与嘴部，提升检测率。具体效果如图 5 所示。

3 改进 SIFT-AdaBoost 的旋转人脸检测

通过 SIFT 特征得到的关键点分为个体和公共两种关键点。需要留下公共关键点，而除去个体关键点。由于公共特征



图 5 人眼、嘴部特征定位

关键点含有一定的规律, 因此, 可以采用对关键点分类地方式来获取。

AdaBoost 为一种迭代思想地方法, 采用改变每个样本权值实现, 对分类正确的样本降低其权值, 反之增大其权值, 这样可以加大对分类困难样本关注度, 最终构成一个强分类器。通过多次迭代训练, 最后得到一个包含人脸公共特征关键点的公共人脸特征分类器。具体实现分为以下 4 个过程:

- 1) 采用遍历的方法选择检测区域图像, 直到接近图像的尺寸。
- 2) 通过计算检测区域 SIFT 特征值来裁剪关键点集, 并且计算关键点方向。
- 3) 将检测区域的 SIFT 特征选择的关键点与训练得到的特征集循环进行匹配。

4) 无论匹配成功与否, 都会乘以置信权值, 重要的关键点权值较大, 对结果的影响较大。反之, 对结果的影响较小。利用这种加权算法, 有效解决了因为个体差异引起的检测不稳定的问题。具体如式 (4):

$$S = \sum_{i=0}^{n-1} S_i \times \omega_i / (\sum_{i=0}^{n-1} \omega_i) \quad (4)$$

其中: ω_i 是第 i 个关键点置信加权值, S_i 是第 i 个关键点相似度, $S \in (0, 1)$ 是区域存在人脸的可能性, 1 代表存在人脸, 0 代表不存在人脸。通过实验验证得出该阈值取在 0.6 到 0.7 之间会得到很好的人脸检测效果。另外, 通过置信权值对关键点的加权计算, 可以得到较准确的旋转角度, 如式 (5)。

$$\theta_m = \sum_{i=0}^{n-1} \theta_i \times \omega_i / (\sum_{i=0}^{n-1} \omega_i) \quad (5)$$

其中: ω_i 是第 i 个关键点置信加权值, θ_i 是关键点往方向, θ_m 是人脸旋转角度。通过此方法可以较好实现旋转人脸检测。

4 实验结果分析

本文算法全过程都是在 VS2010+OpenCV2.3.1 软件下开发实现的, 为了检验本文算法的旋转人脸检测性能, 选择了来自 CMU 旋转测试集和视频截图、互联网图像和相机拍摄的旋转图像共 145 张, 360 个人脸。并与 AdaBoost 方法、FloatBoost 方法、文献 [13] 的方法作对比, 对比效果如表 1 和表 2。

表 1 旋转人脸检测统计结果

算法	检测出的人脸数	漏检人脸数	误检率/%	检测率/%
本文方法	346	14	3.61	96.11
AdaBoost 算法	318	42	6.67	88.33
FloatBoost 算法	325	35	5.83	90.28
文献 [13]	329	31	10.28	91.39

表 2 不同分辨率下的旋转人脸检测耗时统计结果

分辨率	本文方法/s	AdaBoost 算法/s	FloatBoost 算法/s	文献 [13] /s
320×240	0.062 3	0.097 6	0.085 1	0.203 7
640×480	0.261 7	0.502 1	0.453 7	0.675 3
800×600	0.421 3	0.812 4	0.721 5	1.117 1

由表 1 可以看出, 单纯的 AdaBoost 方法、FloatBoost 方法与肤色分割进行旋转人脸检测是不精确的, 本文创新之处在于采用改进的 SIFT-AdaBoost 方法并融合了五官特征定位, 错检和漏检率明显减小, 检测率有了很大的提高, 能够克服复杂条件对图像的影响并能正确检测出旋转人脸图像中的全部人脸信息, 对人脸的定位更加准确。由表 2 可以看出, 当分辨率较低的时候, 因为运算量小, 相比其它方法时间上的优势体现的并不明显。当提高分辨率时, 因为本文方法会直接分析特征, 并且确定角度, 所以, 相比于其它算法, 运算量明显降低, 速率上有了很大的提高。这就使得本文方法更适用于较高分辨率的实时监控人脸的检测与识别, 并且能够得到较高质量的人脸图像。更多的实验结果如图 6 所示。



图 6 旋转人脸检测效果

由图 6 可以看出, 对于光照、复杂背景、有部分遮挡 (胡须、眼镜等) 和不同大小等条件下的人物图像, 通过本文算法都能体现出很好的人脸检测正确性与可靠性。

5 结束语

本文提出一个旋转人脸检测新方法。该方法先通过人脸五官特征对人脸进行矫正和标定。再将改进的 SIFT 特征和 AdaBoost 方法完美融合, 训练得出一个普遍适用的公共人脸 SIFT 特征集, 并且利用 SIFT 的尺度不变性, 完成图像中多角度的人脸信息检测。实验分析表明, 本文的算法不但对旋转人脸有很好的检测效果, 而且对于光照不均匀、多姿态表情、有部分遮挡 (眼镜、胡须等) 影响和复杂背景等多种情况下的人脸也有较好的检测效果, 能较好处理漏检与错检问题, 具有较高准确率、创新性与检测速度, 是一种有效实用的人脸检测方法。未来工作将重点提高对极度旋转人脸图像检测准确率。

参考文献:

- [1] 陈 钱. 红外图像处理技术现状及发展趋势 [J]. 红外技术, 2013, 35 (6): 311-318.
- [2] Liu C H J, Yang J. ICA color space for pattern recognition [J]. IEEE Trans. Neural Networks, 2009, 20 (2): 248-257.
- [3] Choi J Y, Ro Y M, Plataniotis K N. Boosting colorfeature selec-

tion for color face recognition [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2011, 20 (5): 1425-1434.

[4] Shoyaib M, Abdullah-Al-Wadud M, Chae O. A skin detection approach based on the Dempster-Shafer theory of evidence [J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2012, 53 (4): 636-659.

[5] Li B, Yang A M, Yang J. Rotated face detection using AdaBoost [A]. 2010 2nd International Conference on Information Engineering and Computer Science (ICIECS) [C]. 2010: 1-4.

[6] Li S Z, Zhang Z Q. Floatboost learning and statistical face detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26 (9): 1112-1123.

[7] Sayantan T. Face detection using skin tone segmentation [A]. Proceedings of 2011 World Congress on Information and Communication Technologies (WICT). Mumbai: Information and Communication Technologies Proceeding [C]. 2011: 53-60.

[8] 孙圣鹏, 宋明黎, 卜佳俊, 等. 鼻子区域检测与三维人脸姿态自动校正 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25 (1): 34-41.

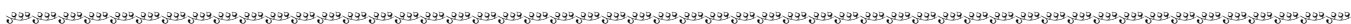
[9] Song Zymanski J. Well-distributed SIFT features [J]. Electronics Letters, 2009, 45 (6): 308-310.

[10] Bastanlar Y, Temizel A, Yardmc Y. Improved SIFT matching for image pairs with scale difference [J]. Electronics Letters, 2010, 46 (5): 346-348.

[11] Yang J, Zhang D, Frangi A F, et al. Two-dimensional PCA: a new approach to appearance based face representation and recognition [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26 (1): 131-137.

[12] Viola P, Jones M J. Robust real-time face detection [J]. International Journal of Computer Vision. 2004, 57 (2): 137-154.

[13] 王建国, 王江涛, 杨静宇. 复杂背景彩色图像中多角度人脸检测 [J]. 计算机工程, 2008, 34 (3): 210-212.



(上接第 119 页)

2 I/V 模块保护壳

所设计的电子电路板安装在一个电子保护壳中, 保护壳选用绝缘高强度的塑料电子模块保护外壳。现场使用情况下, 该模块安装在电子保护外壳中, 该电子外壳的底端设计为一个卡槽, 可以安插在标准的 35 mm 导轨上, 模块的厚度为 22.6 mm, 长度为 92 mm, 宽度为 99 mm, 一共有 16 位端子, 分别排列在两端, 方便操作人员快速的安装操作和接线, 结构和接线方式满足现场要求。

3 试验环境搭建及试验结果

设计完成的模块要进行试验验证, 按照下方所示图 6 的调试接线图搭建好试验平台, 准备好信号源及测试万用表。将信号源正负输出端分别接至通道的正负输入端, 调节输入电流信号的大小, 用数字多用表测试通道输出端的电压, 并做好输出端的电压记录。

表 1 I/V 模块两通道电流/电压转换性能测试

输入电流值/mA	输出理论电压/V	通道 1 实测输出电压/V	通道 2 实测输出电压/V
0	0	0	0.001
4	1	1.002	0.998
8	2	2.001	1.997
12	3	3.006	2.994
16	4	4.007	3.996
20	5	5.003	4.992

4 结论

研究设计的电流/电压转换 I/V 模块的原理简单易行, 且全部由模拟电路搭建而成, 未使用任何可编程程序控制芯片, 不存在进行 V&V 认证问题^[7]。在使用简单模拟电路的基础上, 通过选择稳定的电源、相关补偿电路及精密芯片, 保证了该模块的输出精度、隔离电压、过流过压保护以及散热等方面的要求。该模块安装接线及操作使用非常简单, 完全满足在核电站及其它严酷环境中使用要求^[8], 截止目前所设计模块已经在核电站成功应用且运行状况良好。

参考文献:

[1] GB/T 3369. 1-2008/IEC 60381-1: 1982. [S].

[2] GB/T 3369. 2-2008/IEC 60381-2: 1978. [S].

[3] 邱建文, 孔海志, 莫国钧. 核电站电磁兼容挑战及应对策略 [J]. 原子能科学技术, 2009, 43 (s1): 360-363.

[4] Burr-Brown Corporation. Precision Lowest Cost Isolation Amplifier ISO124 [DB/OL]. 1997, <http://www.burr-brown.com/>.

[5] 康华光, 陈大钦, 等. 电子技术基础模拟部分第四版 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1998: 67-81.

[6] Analog Devices. High Speed, Low Power Dual Op Amp AD827 [DB/OL]. [2006], <http://www.analog.com/>.

[7] 刘真, 江国进, 孙永滨. 核电安全级仪控系统软件 V&V 活动及其方法研究 [J]. 核科学与工程, 2011, 31 (s2): 45-50.

[8] 张益林, 王源, 王旻, 等. 大亚湾核电站失水事故监视系统改造设计与验证 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (8).

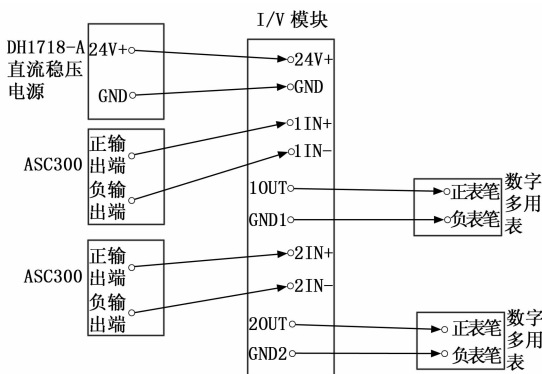


图 6 I/V 模块调试接线图

按照调试接线图对所设计的 I/V 模块的两个转换通道分别进行测试试验, 在多次试验后结果均满足输出精度的要求, 表 1 中记录了 I/V 模块两个通道的其中一次调试试验结果, 从中可以看出所设计的模块精度非常高, 在进行完精度试验后, 又对模块进行了常温下长期稳定性试验, 试验结果均满足要求。