# 数字城市中矩形建筑物区域的自动获取

### 魏志强 孙亚兵 纪筱鹏 杨 淼

(中国海洋大学信息科学与工程学院计算机科学系 青岛 266100)

摘 要 为了缩小基于视频的数字城市三维重建中建筑物特征点的提取匹配的搜索范围,需要对目标建筑物区域进 行快速提取。以矩形建筑物为例,首先对预处理后的图像做 Hough 变换,获取直线段集合;然后,在分析建筑物轮廓 线的相互位置关系时,利用提出的点密度和 Hough 空间中计数器的数值,筛选出直线段集合中能表现建筑物轮廓信 息的直线段。实验结果表明,运用点密度能去除干扰线段,算法对建筑物上下轮廓和左右轮廓采用不同的提取策略, 在由于拍摄角度而造成的建筑物畸变的情况下,能快速准确地提取出矩形建筑物区域。 关键词 建筑物提取,Hough 变换,点密度,边界分析,自适应阈值

#### **Rectangular Building Auto Extraction of Digital City**

WEI Zhi-qiang SUN Ya-bing JI Xiao-peng YANG Miao (Computer Science Department, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract** In order to reduce the scope of characteristic dot extracting and matching in 3D reconstruction of digital city based on video, an auto building regional extraction algorithm was proposed. It attained lines array using Hough transform for the preprocessed image, and applied DotDensity proposed and the values of counter in Hough space analyzing relation between contours' geometrical position to get the contour line segments. Experimental results present that using the proposed DotDensity can eliminate disturbing lines effectively and the approach can get acceptable results fast from images using different extracting methods for vertical and horizontal boundaries with less complicated backgrounds even if the building deforms in picture due to shooting angle.

Keywords Extract building, Hough transform, Dotdensity, Boundary analysis, Adaptive threshold

## 1 引言

20世纪90年代以来,"数字城市"<sup>[1]</sup>成为从技术科学到 社会科学多学科探讨的领域,它在城市公共设施的管理、建筑 设计的建筑物景观模拟等领域都有广泛的应用前景,成为当 前研究的一个热点。其中基于 CCD 视频的数字城市三维重 建,以其低成本、高效率受到越来越多的关注,它的实现基本 上可分为3个步骤:物体识别与提取、特征点匹配、三维建模。 作为城市场景主体的建筑物,对其提取的准确率直接影响着 数字城市三维重建的效果。

图像的灰度特征、几何特征等均可用于目标物体提取。 在实际应用中,一般是综合几种特征进行物体的提取。文献 [2]通过输入初始位置,利用物方空间几何约束的最小二乘匹 配平差模型,实现了数字航空立体像对建筑物的半自动提取; 文献[3]针对航拍图像,提出了一种基于 Hough 变换的建筑 物半自动提取方法,通过限制 Hough 变换的搜索范围,快速 提取出屋顶的边缘,并用最小二乘法进行后续处理,最终提取 出建筑物;文献[4]结合物方空间和图像空间各种有用信息, 给出了一种在单幅高分辨率航空影像中自动提取高层建筑物 的方法;文献[5]采用 Splitting 方法提取直线后对直线进行分 类、排序、合并等后续处理,并把提取出的构成矩形的基本结 构元合并成矩形结构,实现了从航拍图像中自动提取城区建 筑物;文献[6]提出了一种高分辨率影像建筑物提取方法,它 采用分类和形态综合的思想,对建筑物进行范围的初步自动 化提取,经轮廓拟合等处理,得到建筑物的形状信息;文献[7] 利用建筑物的几何特征(角点特征、阴影特征等)和灰度特征, 实现了从遥感图像中自动提取建筑物;文献[8]把基于概率的 Hough 变换和多尺度物体分类的思想应用于遥感图像中的 建筑物提取;文献[9]在提取航拍和卫星图像中建筑物屋顶 时,充分利用了屋顶的几何属性;文献[10]针对 Ikonos 卫星 图片中建筑物的特点,在图像分割时采用了 ECHO 分类器和 ISODATA 算法,并用 Hough 变换找出建筑物的轮廓。

文献[2,3]中提出的半自动提取算法虽然取得了较好的 实验效果,但由于它们需要事先输入限定条件,通用性较差, 效率偏低;文献[4-10]则针对航空拍摄的图像、卫星遥感图像 中建筑物的特征,提出了若干提取算法,较精确地提取出建筑 物顶部,确定出建筑物大体位置。因为在基于视频的数字城 市三维重建中更多的是要获得建筑物的侧面轮廓信息,所以

到稿日期:2008-03-26 本文受国家自然科学基金(60602017),山东省中青年科学家基金(2005BS01001),山东省科技攻关项目 (2004GG2005112)资助。

魏志强 教授,博士生导师,博士,主要研究方向为移动计算、图像处理与计算机视觉、智能机器人技术;**孙亚兵** 硕士研究生,主要研究方向为 图像理解、计算机视觉;纪彼鹏 讲师,博士,主要研究方向为图像处理与计算机视觉;杨 森 博士研究生,主要研究方向为计算机视觉。

上述算法均不适用于 CCD 拍摄的视频图像中建筑物的提取。

本文假设:(1)城市建筑物大都具有规则的几何造型,(2) 拍摄图片时摄像机的光轴与建筑物平面的法线夹角不超过 45度,(3)图片中的建筑物具有完整的轮廓。为了缩小特征 点的检测范围、提高三维重建的效率,基于上面的假设,本文 提出了一种提取 CCD 视频图像中矩形建筑物区域的算法,该 算法对 Hough 变换进行了改进,提出了点密度的概念,有效地 去除了干扰线段;通过分析图像中"水平"轮廓和"垂直"轮廓的 特点,采用了不同的提取策略,特别是在提取"垂直"轮廓时,实 现了 Hough 空间计数的自适应阈值和点密度的自适应阈值。 实验结果表明,在由于拍摄角度而造成的建筑物畸变的情况 下,该算法能够快速有效地提取出图像中的建筑物的区域。

## 2 基于改进 Hough 变换的直线检测

### 2.1 Hough 变换基本原理

Hough 变换是 Paul Hough 于 1962 年提出的一种利用图 像全局特性而将边界像素连接起来组成区域封闭边界的方 法<sup>[11]</sup>,其基本思想是点-线的对偶性。考虑到直线接近竖直 时,会使计算量大增,因此在实际应用中,一般用极坐标方程 表示直线。对于图像空间任意点(*x*;*y*),其函数关系为

 $\rho = x\cos\theta + y\sin\theta$  (1) 此时,原来的点-直线对偶性变成了现在的点-正弦曲线对偶性。如果对同一条直线 L 上的 n 点进行上述变换,则原图像空间这 n 点在极坐标空间中得到 n 条正弦曲线,并且这些曲线相交于同一点  $P^{[12,13]}$ 。

#### 2.2 基于点密度的 Hough 变换直线检测

Hough 变换算法是根据式(1)将图像空间中的每一点  $(x_i, y_i)$ 映射到 Hough 空间中的一组累加器  $HT(\theta_i, \rho_i)$ ,满足 该式的每一点,将使对应的累加器中的值加 1。如果图像中 存在多条直线,可设定一个阈值,通过统计累加器中大于阈值 的空间点的个数可获得直线的条数,如图 1 所示。



图 1 Hough 变换

可以看到,在图1(b)Hough参数空间中有3个明显的峰 值与图1(a)中的3条直线段对应。然而,从图1(a)中可以看 出,直线1上的点很稀疏,虽然由于直线段长度较长从而在对 应点的累加器也会产生明显的峰值,但从视觉角度上看,图1 (a)中的直线1往往是由于纹理、噪声等造成的干扰,不能反 映真实的几何特征。在用 Hough变换提取图像中建筑物的 直线段时,建筑物自身的纹理及复杂的背景信息也会对建筑 物的轮廓线提取造成干扰,从而降低了直线检测的准确率。 通过实验,发现仅对空间点的累加器进行阈值判断很难有效 去除检测出的干扰直线,因此将 Hough 空间和图像空间结合 起来,提出了点密度的概念,如式(2)所示,用来表示用 Hough 变换提取的线段上的点的密集程度。

$$DotDensity = \frac{DotNumber}{Length}$$
(2)

其中,DotNumber为当前经 Hough 变换后检测出的直线段中 累加器的计数,Length为对应直线段的两个端点间的欧式 距, $DotDensity \in [0,1]$ 。

检测出的干扰直线是指从视觉上不能反映目标几何特征,但对应的累加器的值超过给定阈值的直线,它上面的点一般较稀疏。这样,在累加器 HT( $\theta_i$ , $\rho_i$ )判定的基础上,加上点密度的判定,就可以排除部分干扰直线。



图 2 用 Hough 变换及结合点密度的效果图

如图 2 所示,图 2(a)为原图,图 2(b)为只用 Hough 变换 进行直线检测得到的直线段,其中,累加器的计数的阈值设为 40,图 2(c)是用基于点密度的 Hough 变换进行直线检测得到 的直线段,其中点密度阈值设为 0.3。从图中可以看出,图 2 (c)中的干扰直线段明显比图 2(b)中的少,并且目标直线段 没有丢失。

#### 3 建筑物轮廓线的自动提取

#### 3.1 轮廓线位置关系

通过分析大量包含建筑物的图片发现,在图像空间中的 建筑物区域一般满足如下规律:建筑物的顶部轮廓线段应满 足 y 值最小,底部轮廓线段应满足 y 值最大,左边界轮廓线段 应满足 x 值最小,右边界轮廓线段应满足 x 值最大,如图 3 中 检测出来的轮廓线所示。



图 3 检测出的轮廓线

#### 3.2 自动提取建筑物轮廓的方法步骤

一般情况下,建筑物的顶部干扰物最少,所以本文首先提 取顶部的轮廓线;底部边界线段由于道路、行人、树木等的干 扰,点数及点密度的数值和顶部边界直线段的参数数值间的 差值波动很大。因此,检测底部轮廓时采用的提取方法和顶 部轮廓相似,均采用局部搜索并结合几何约束关系的方法。

通过实验发现,真实的竖直轮廓的 Hough 空间计数和点 密度与顶部轮廓的对应数值相差不大,很少出现建筑物其他 轮廓线的 Hough 空间的点数和点密度比顶部轮廓线的点数 和点密度大很多的情形。如果单纯采用局部搜索的方法,时 间复杂度太高,且增加了提取的难度。在此,利用 Hough 变 换利用图像全局性的特点,把顶部轮廓线的 Hough 空间计数 和点密度作为参考值,代入式(9)、(10)、(11),得到判定两侧 边界线段的点数和点密度的阈值,通过竖直轮廓提取策略,确 定出两侧的轮廓线。

• 212 •

自动提取建筑物区域的具体步骤如下。

1)确定顶部轮廓线

检测轮廓线段待选集合中线段坐标 y 的最小值,并把其 对应的线段作为初始的顶部线段。对于满足式(3)、式(4)

$$DotNumber_i \geqslant DotNumber_j$$
 (3)

 $DotDensity_i \geqslant DotDensity_j$  (4)

的线段 *line*[*i*]进行方位检测(*i* 是当前待检测的线段在轮廓 线段待选集合中的序数,*j* 是当前暂时被确定为目标线段在 轮廓线段待选集合中的序数):

|line[i]. x1-line[i]. x2 | ≪VerticalDiffe (5) line[i]. x1, line[i]. x2 为线段 line[i]的端点横坐标,通过参 数 VerticalDiffe 可以控制线段与水平方向的倾角,从而可 以处理由于拍摄角度变化导致的建筑物变形的情形。根据经 验,在实验中 VerticalDiffe 赋值为图像高度的 1/10。若满 足式(5),说明线段 line[i]可以被认为是顶部轮廓线,否则重 新在轮廓线段待选集合中进行选择。

2) 确定底部轮廓线

检测轮廓线段待选集合中线段坐标 y 的最大值。对于满 足式(3)、式(4)的线段,和上步中得到的顶部轮廓线做平行关 系判定,把与顶部轮廓线最接近于平行的线段作为底部线段。

3) 计算判定阈值

调用计算判定阈值的算法 3.3,获得判定左/右部轮廓线 Hough 空间的计数阈值 DotNumThre 和点密度阈值 DotDenThre。

4) 确定左/右部轮廓线

检测轮廓线段待选集合中线段坐标 x 的最小值/最大值, 分别把它们对应的线段作为左右部边界线段的初始值。然后 从轮廓线段待选集合中选取满足式(6)、式(7)的线段 *line* [i],对其进行方位检测:

$DotNumber_i \geqslant DotNumThre$	(6)

 $DotDensity_i \geqslant DotDenThre$  (7)

*line*[*i*]. y1,*line*[*i*]. y2 为线段 *line*[*i*]的端点横坐标,通过参数 *HorizontalDiffe* 可以控制线段与竖直方向的倾角。同样 根据经验,在实验中 *HorizontalDiffe* 赋值为图像宽度的 1/25。若满足式(8)并且满足于顶部轮廓线的垂直关系判定, 说明线段 *line*[*i*]可以被认为是左/右部轮廓线,否则重新选择。

 $|line[i], y1-line[i], y2| \leq HorizontalDiffe$  (8)

5)轮廓线间求交,获得轮廓角点,确定出建筑物的范围。

#### 3.3 Hough 空间计数阈值及点密度阈值自适应算法

3.3.1 Hough 空间计数自适应阈值算法

1) 计算权值

取建筑物顶部轮廓线的 Hough 空间累加器的计数和其 他直线段的计数(假设有 n 条),依次代入式(9)、(10),求得该 线段的权值 Cost<sub>i</sub>:

$$Sum = \sum_{j=1}^{n} 1/(1 + (DotNumrefer - DotNumber_j)^2)$$
(9)

$$Cost_{i} = \frac{1/(1 + (DotNumrefer - DotNumber_{i})^{2})}{Sum}$$
(10)

其中,DotNumrefer是顶部轮廓线的累加器计数, $DotNumber_i$ 是当前线段的计数, $DotNumber_j$ ( $j=1,2,\dots,n$ )是第 j条 直线段的计数。

2) 获得计数的阈值

代入式(11),得计数阈值 DotNumthre:

 $DotNumThre = \sum_{i=1}^{n} DotNumber_i \times Cost_i$ (11)

式(10)说明待检测直线段的点数与顶部边界直线段的点数越接近,权值越大。由于非建筑物边界的直线段的点数往往与顶部边界直线段的点数相差较大,因此它们的权值很小。 3.3.2 点密度自适应阈值算法

计算点密度自适应阈值 DotDenThre 的算法与计算 Hough空间计数阈值的算法类似,用各条线段的点密度代替 公式中的对应的计数即可,这里不再赘述。

#### 4 实验结果

本文以视频图像中建筑物的提取为应用背景,提出了一 种利用建筑物的位置信息及其边界线段之间的位置关系检测 出建筑物范围的算法,使得特征点的提取及匹配、建筑物三维 建模等后续工作只需在确定的建筑物区域范围内进行,避免 了搜索整个图像,提高了特征点匹配的精度和建筑物三维重 建的效率。其中,该算法是在硬件配置为 CPU 1.70GHz,内 存 512MB 的 Windows XP 下 Visual C++ 6.0 平台上实现 的。

为了比较 3.2 节中给出的自动提取建筑物轮廓(以下简称"自动提取")的检测效果,实验中用人工干预的方式对轮廓 线检测时的点数和点密度的阈值进行了设置(以下简称"半自 动提取"),以获得最优的实验效果。实验图片是在自然条件 下用不同的数码相机拍摄的,其中图 4(a)是从建筑物的正面 拍摄的图片,图 5(a)和图 6(a)是从建筑物的侧面拍摄的图 片。从图片中可以看出,图 4(a)中的建筑物前方干扰较多, 两侧干扰较少;图 5(a)中的建筑物左侧有一明显干扰物;图 6 (a)中的建筑物两侧和底部均有干扰。

实验中首先对图像进行预处理,包括图像平滑和二值 化——采用文献[14]中提出的一种改进的中值滤波的方法对 图像进行平滑,并采用 Canny 算子实现了图像的二值化;接 着对预处理后的图像进行 Hough 变换,获得直线段集合,然 后检测建筑物的范围。

由于图像空间中的每条直线(如式(1)所示)在 Hough 变 换后的结果图(ρ,θ定义的二维空间)中在正/负半平面各出现 一次,因此在本文所用的 Hough 算法中,θ只在正半平面上取 值<sup>[15]</sup>;同时,因为累加器数组的尺寸决定着空间点共线统计 的准确性<sup>[12]</sup>,所以本文兼顾 Hough 变换运行效率和共线统 计的准确性,θ每间隔 2 度取值一次。实验效果分别如图 4— 6 所示,其中图 4(b)、图 5(b)和图 6(b)是 3 幅实验图片的预 处理效果图,图 4(c)、图 5(c)和图 6(c)是半自动提取的效果 图,图 4(d)、图 5(d)和图 6(d)是自动提取轮廓的效果图。

同时,为了客观地评价实验效果,每幅图片用鼠标点取 20 组轮廓角点,然后求取平均值,作为轮廓角点的真实坐标, 并把每幅实验图的 3 组坐标代入式(12),计算出的误差率 δ 作为评价算法的标准:

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^{4} (|x_{ii} - x_i| + |y_{ii} - y_i|)}{\sum_{i=1}^{4} (x_{ii} + y_{ii})}$$
(12)

其中,(*x<sub>i</sub>*, *y<sub>i</sub>*)是真实轮廓角点的坐标,(*x<sub>i</sub>*, *y<sub>i</sub>*)是半自动提取/自动提取的轮廓角点坐标,二者一一对应,计算结果如表1所示。

表1 三幅实验图片中轮廓角点的坐标与对应的真实坐标比较

		右上角点	( 右下角点	左下角点	左上角点	误差率(δ)
1971 4	点取的 真实坐标	(175,41)	(176,93)	(2,91)	(4,36)	
图 4 分辨率:	半自动	(176,41)	(176,94)	(3,86)	(3,36)	1.4563%
(189×144)	自动获得从标	(176,41)	(176,94)	(3,86)	(3,36)	1.4563%
	点取的真	(281,55)	(294,165)	(14,173)	(24,23)	
图 5 分辨率	头坐你 半自动 井 個山村	(282,52)	(293,165)	(12,175)	(23,24)	1.069%
(306×226)	获得坐标 自动获 但小!!	(282,52)	(293,165)	(3,176)	(20,24)	2. 3324 %
	何坐标 点取的真 空业好	(201,6)	(206,147)	(48,149)	(44,11)	
图 6 分辨率	头 王 你 半自动 菇 得 从 标	(205,12)	(205,148)	(44,154)	(44,19)	3.9624%
(256×192)	自动获得坐标	(204,12)	(204,158)	(44,164)	(44,19)	6.3804%



图 4 效果图 1





图6 效果图3

观察以上实验结果可知,无论是对单一矩形建筑物的提取,如图 4(d)和图 5(d),还是对多个矩形组合成的建筑物提取,如图 6(d),自动提取算法均取得了良好的效果,比较精确 地提取出了建筑物轮廓,最高误差率为 6.3804%,最低误差 率为1,4563%;与半自动提取的相对误差均没有超过2.5%。 由于图像中存在的干扰,3幅实验图片出现了不同程度的误 差,自动提取算法的误差更大些。图4(a)的地面部分遮挡了 建筑物的底部,在预处理时,底部轮廓被当作地面滤除,建筑 物轮廓的完整性遭到破坏,使得提取的精度下降;图5(a)中 建筑物左侧的干扰物在预处理后和建筑物的左边界具有极大 的相似性,点密度和计数器计数也差别不大,影响了"垂直"轮 廓的自适应阈值提取策略效果;图6(a)中建筑物底部的干扰 物较多,用计数和点密度去除部分干扰后,在底部依然有计数 和点密度较大的与顶部平行的线段,右"垂直"轮廓在预处理 后存在较多"毛刺",使得轮廓角点的位置出现不同程度的偏 移;此外,人工用鼠标点取轮廓角点坐标也存在一定的误差。

本文提出的"点密度"有效地去除了干扰,为后续的提取 轮廓线段奠定了基础。建筑物变形自适应控制参数 VerticalDiffe,HorizontalDiffe克服了相机拍摄角度导致的建 筑物畸变的情形,如图 5(d)和图 6(d)。"水平"轮廓边界和 "垂直"轮廓边界的提取取得了良好的效果,较准确地获取了 建筑物的轮廓范围。从预处理到确定出建筑物区域,3 幅图 片平均耗时 1.562s,完全满足速度上的要求。数字城市中建 筑物提取并不要求精确提取,只需快速找出建筑物的大致范 围,提高后续的特征点匹配精度和三维重建的效率,因此本文 提出的算法是有效的。另外,对于多矩形组成的建筑物轮廓 提取,可以根据需要把各个矩形轮廓分开。

结束语 通过以上对算法实验的分析表明,本文给出的 自动提取算法快速、准确地提取出了建筑物轮廓范围,缩小了 后续特征点的检测范围,提高了特征点匹配的精度和三维重 建的效率。文中提出的点密度,将 Hough 空间和图像空间结 合起来,有效地去除了干扰线段,提高了提取的准确度;在提 取轮廓时,考虑到了拍摄角度变化导致建筑物畸变的情形,把 控制畸变的参数和图片的高度/宽度关联起来,提高了算法的 通用性;针对"水平"轮廓和"垂直"轮廓采用不同的提取策略, 尤其是在提取"垂直"轮廓时提出的自适应阈值方法,具有较 高的理论创新性和应用价值。

# 参考文献

- [1] 项琳.数字城市建立技术研究及数字校园实现[D].学位论文. 西安科技学院,2002
- [2] 张祖勋,张剑清,胡翔云.基于物方空间几何约束最小二乘匹配的建筑物半自动提取方法[J].武汉大学学报,2001,26(4):290-295
- [3] 周俊,吉小刚,郑战辉. 基于 Hough 变换的建筑物半自动提取 [J]. 测绘科学技术学报,2006,23(5):345-347
- [4] 唐亮,谢维信,黄建军,等.从航空影像中自动提取高层建筑物[J].计算机学报,2005,28(7):1199-1204
- [5] 陶文兵,柳健,田金文.一种新型的航空图像城区建筑物自动提 取方法[J].计算机学报,2003,26(7):866-873
- [6] 刘正军,张继贤,孟亚宾,等. 基于分类与形态综合的高分辨率影像建筑物提取方法研究[J]. 测绘科学,2007,32(3):38-39,46,193
- [7] 侯蕾,尹东,尤晓建. 一种遥感图像中建筑物的自动提取方法 [J]. 计算机仿真,2006,23(4):183-188
- [8] Liu Z J, Wang J, Liu W P. Building extraction from high resolution imagery based on multi-scale object oriented classification and probabilistic Hough transform // Geoscience and Remote

• 214 •

Sensing Symposium. IGARSS apos; 05. Proceedings. 2005, 4: 2250-2253

- [9] Croitoru A, Doytsher Y. Right-angle rooftop polygon extraction in regularised urban areas. Cutting the corners. Photogrammetric Record, 2004, 19 (108): 311-341
- [10] Lee D S , Shan J , Bethel J S . Class guided building extraction from Ikonos imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2003, 69 (2):143-150
- [11] Hough P V C. Method and means for recognizing complex pa-

#### (上接第183页)

表 2 JAFFE 表情库实验结果

	JAFFE database		
Method	Feature	Recognition	
	dimensions	rate	
2DPCA[9]	80 * 40	71.7%	
Gabor+PCA	7200 × 56	78.3%	
Gabor+2DPCA	400 * 17	93.3%	
Gabor+2DPCA+Fuzzy classifier	80 <b>*</b> 17	96.7%	

表 3 Cohn-Kandade 表情库实验结果

	Cohn-Kandade database		
Method	Feature	Recognition rate	
	dimensions		
2DPCA[9]	80 * 39	91.04%	
Gabor+PCA	7200 × 92	92.5%	
Gabor+2DPCA	400 * 17	94.17%	
Gabor+2DPCA+Fuzzy classifier	80 × 17	98.3%	

在 JAFFE 表情库, Gabor+2DPCA+Fuzzy classifier 方 法中,通过3次实验得到了平均95%的识别率,其中最好的 识别率为 96.7%。在自建表情库和 Cohn-Kanade 表情库中, Gabor+2DPCA+Fuzzy classifier 方法得到了 98.3%的识别 结果。从表 1-3 可以得出:(1)2DPCA 无论在识别结果上还 是在特征表达上都优于 PCA。首先, 2DPCA 不需要将特征 图片转换成一维向量,可以直接对图片构造协方差矩阵,有效 地降低特征维度和提高特征向量的求取效率;其次,在所有的 实验结果中,2DPCA 的识别率高于 PCA。(2)Gabor 小波在 对表情特征的表达上具有优势。自建表情库上,在 Gabor 小 波特征的基础上做 2DPCA 降维,比直接对表情图片进行 2DPCA 特征提取,识别率提高 8%;在 JAFFE 表情库上,用 Gabor 小波来表征表情特征,识别率提高了 22%;在 Cohn-Kanade 人脸表情库上,识别率提高了 3%。(3)Gabor 小波与 2DPCA 结合进行表情识别能够有效提高识别率。(4)提出的 基于 Gabor 小波特征模糊分类和分类器集成的方法能够进一 步提高识别率,并且降低特征维数。

结束语 本文将 Gabor 小波与 2DPCA 结合应用于人脸 表情识别,并且提出了一种基于 Gabor 小波特征模糊分类和 分类器集成的人脸表情识别新方法。通过在 JAFFE, Cohn-Kanade 和自建表情库上分别进行实验,结果证明了该方法的 有效性。与 Gabor+PCA 方法相比, Gabor+2DPCA, Gabor+ 2DPCA+Fuzzy classifier的方法在提高识别率的同时,降低了 tterns[P]. U. S. Patent 3,069,654,1962

- [12] 章毓晋.图像工程(上)图像处理和分析[M].北京:清华大学出版社,1999:187-188
- [13] 陈洪波. Hough 变换及改进算法与线段检测[D]. 广西师范大 学,2004:12-14
- [14] 张恒, 雷志辉, 丁晓华. 一种改进的中值滤波算法[J]. 中国图像 图形学报, 2004, 9(4): 408-411
- [15] 陆宗骐. C/C++图像处理编程[M]. 北京:清华大学出版社, 2006:224-225

特征维数。所以本文提出的 Gabor+2DPCA 结合的方法适 用于面部表情特征的提取。模糊分类和分类器集成的方法, 有效地将不同度量上的 Gabor 特征进行了融合,进一步提高 了识别率。

# 参考文献

- [1] Ekman P, Friesen W V. Constant across cultures in the face and emotion. J. Personality Social Psycho, 1971, 17(2): 124-129
- [2] Ekman P, Friesen W V. Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement. Consulting Psychologists Press, 1978
- [3] Ekman P. Facial Expression and Emotion. American Psychologist, 1993, 48: 384-392
- [4] Rose N. Facial Expression Classification using Gabor and Log-Gabor Filters//Proceedings of the 7th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FGR'06). 2006
- [5] Zhang Zhengyou, Lyons M, Schuster M, et al. Comparison between geometry-based and Gabor-wavelets-based facial expression recognition using multi-layer perception // Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 1998;545-459
- [6] Dailey N, Cottrell W. PCA Gabor for Expression Recognition. Technical report. University of California, San Diego, 1999
- [7] Zhan Yongzhao, Ye Jingfu, Niu Dejiao, et al. Facial expression recognition based on Gabor wavelet transformation and elastic templates matching // Third International Conference on Image and Graphics, 2004:254-257
- [8] Lyons M J. The Japanese Female Facial Expression (JAFFE) Database [DB]. http://www.mis.atr. co. jp/~mlyons/jaffe. html,1998
- [9] Sun Wenyu, Ruan Qiuqi. Two-dimension PCA for Facial Expression Recognition// ICSP2006 Proceedings
- [10] Yang Jian, Zhang D, Frangi F, et al. Two-Dimensional PCA: A New Approach to Appearance-Based Face Representation and Recognition. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 2004, 26 (1):131-137
- [11] Kanade T, Chon J, Tian Y. Comprehensive database for facial expression analysis [C] // Proceedings of International Conference on Face and Gesture Recognition. 2000:46-53
- [12] 高文,金辉. 面部表情图像的分析与识别[J]. 计算机学报,1997, 20(9):782-789