

基于统计模型与 Gabor 小波的人脸对齐

余棉水,黎绍发

(华南理工大学 计算科学与工程学院, 广东 广州 510641)

(cmsyu@163.com)

摘要:将基于 Gabor 小波的人脸特征点跟踪算法与基于统计模型的主动外观模型 AAM 人脸特征点定位方法结合起来,实现视频中人脸的自动对齐。先利用 Gabor 小波进行特征点跟踪,其结果作为 AAM 的初始形状。利用 AAM 的全局形状和纹理信息作为约束,对 Gabor 小波的局部跟踪错误进行校正。实验表明,该方法是有用的。

关键词:特征点跟踪; Gabor 小波; 主动外观模型

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Face alignment based on statistical models and Gabor wavelet

YU Mian-shui, LI Shao-fa

(School of Computer Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510641, China)

Abstract: A face alignment scheme was proposed by integrating the Gabor-wavelet facial feature points tracking algorithm with the facial feature points localization method based on statistical mode AAM(Active Appearance Model). First the facial feature points were tracked with Gabor wavelet, then the result was used as the initial shape of the AAM. The local tracking errors of Gabor wavelet were corrected with the global constrained shape and texture information of AAM. Experiments prove that the method works well.

Key words: feature point tracking; Gabor wavelet; AAM(Active Appearance Model)

0 引言

人脸表情识别在人机交互(HCI),以及在商业应用方面,如在可视电话,电视会议上等都有重要的应用价值。多年来在计算机视觉领域受到人们的高度重视。然而,对广大科研工作来说,该课题仍然是一个巨大的挑战。实际上,即使人类本身对某些表情都存在着不同的看法。

在人脸表情识别的早期研究工作中,人们主要对静态图像进行表情分析与识别。由于视频比静态图像能够提供更丰富的信息,近年来以视频为对象的研究在表情分析中逐渐受到人们的重视,成为主流。一个完整的人脸表情识别系统主要由三部分组成:人脸检测、人脸表情特征点的提取和人脸表情的分类。因此,人脸表情序列图像的不同帧中人脸的对齐,人脸特征点的定位与提取成为视频中人脸表情识别必须解决的首要问题。

Gabor 函数是唯一能够到达时频测不准关系下界的函数,它能够很好地同时在时域和频域中兼顾对信号分析的分辨率要求。Gabor 函数的这一特性在信号处理中得到广泛的应用。2D-Gabor 函数较好地描述了哺乳动物初级视觉系统中一对简单视觉神经元的感受特性。Daugman 最早将其用于计算机视觉领域^[1]。在文献[2]中,Wiskott 使用 Gabor Jets 来表征人脸特征点,提出了弹性束图匹配算法(Elastic Bunch Graph Matching),进行人脸识别,取得了较好的效果。文献[3]将 Gabor Jets 用于人脸特征点的跟踪,取得了比较满意的效果。然而,该算法也存在明显的不足,当表情剧烈快速变化

的时候,容易出现跟踪失败的情况,需要人工的干预来修正。显然,该方法没有使用关于人脸的先验知识。

主动外观模型(Active Appearance Model, AAM)是由文献[4]提出的一种图像特征提取方法。AAM 建立了全局的纹理模型和形状模型,然后再将纹理和形状进一步组合在一起构成外观模型,该方法已被用于人脸识别中并取得了较好的效果^[5]。AAM 方法用于特征点定位提取时,需要在新图像中除边界部分之外的很大区域内搜索新对象。又由于 AAM 方法需要变化的参数非常多,虽然已采用了一些性能优良的优化方法^[4],但仍较为耗时。

本文将基于 Gabor 小波的特征点跟踪方法与基于 AAM 的特征点定位方法结合,实现视频中人脸的自动对齐,取得了令人满意的效果。

1 Gabor 小波特征点跟踪算法

2D-Gabor 小波可以表示为:

$$\psi_j(\vec{x}) = \frac{\vec{k}_j^2}{\sigma^2} \exp\left(\frac{\vec{k}_j^2 \vec{x}^2}{2\sigma^2}\right) \left[\exp(i\vec{k}_j \cdot \vec{x}) - \exp\left(-\frac{\sigma^2}{2}\right) \right] \quad (1)$$

其中,项 $\exp(-\sigma^2/2)$ 是为了抵消图像的直流成分,从而使滤波器对图像的平均光照不敏感。系数 \vec{k}_j^2/σ^2 确保不同小波的能量大致相同。

$$\vec{k}_j = \begin{pmatrix} k_{jx} \\ k_{jy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_v \cos \varphi_\mu \\ k_v \sin \varphi_\mu \end{pmatrix}$$
$$k_v = 2^{-\frac{v+2}{2}} \pi$$

$$\varphi_v = \mu \frac{\pi}{8}$$

其中, v 是频率参数, μ 是方向参数。为了平滑地在频域中采样, 取 40 个小波, 包括 5 个频率 ($v = 0, \dots, 4$), 及 8 个方向 ($\mu = 0, \dots, 7$)。

对图像 $I(x)$, 在给定点 \vec{x} 的卷积定义为:

$$J_i(\vec{x}) = \int I(\vec{x}') \Psi_j(\vec{x} - \vec{x}') d^2 \vec{x}' \quad (2)$$

当使用所有 40 个小波时, 在点 x 处将产生一个 40 维的小波系数向量, 我们把它称之为该点的 Jets, 它包含了该点的局部信息。要判定两点的系数向量 J 和 J' 的相似性, 使用公式 (3)。

$$S_\phi(J, J') = \frac{\sum_j a_j a'_j \cos(\phi_j - \phi'_j - \vec{d} \cdot \vec{k}')}{\sqrt{\sum_j a_j^2 \sum_j a'^2_j}} \quad (3)$$

其中, d 是系数向量 J 和 J' 之间的空间距离 (即对应特征点的空间几何距离)。使用低的小波频率, 可以增加位移检测的范围。频率最低时, 估计位移可达到 8 个像素, 而频率最高时, 达到 2 个像素。

利用 Gabor Jets 进行特征点跟踪的算法如下: 给定两帧图像 I_1, I_2 , 对 I_1 中的特征点 $p = (x, y)$, 假设其 Jets 为 J_1 。在 I_2 中 p 点周围 16×16 个像素范围内, 分别计算各点的 Jets, 假设为 J_2 。利用式 (3) 进行相似性估计, 将与 J_1 最匹配的点作为 I_2 中对应特征点的新位置。依此类推, 进行特征点的跟踪。

2 AAM 人脸特征点定位算法

AAM 采用统计分析的方法建立先验模型, 然后利用先验模型对图像中的目标物体进行匹配运算。其优点在于该模型不仅仅包含目标物体的形状信息, 而且还包含有目标物体的内部纹理信息。通过选择合理的匹配参数以提高匹配速度, 使得 AAM 的定位能力更加健壮, 定位效果更加准确。

2.1 建立人脸 AAM

为了建立人脸形状模型, 需要一组人脸样本, 并对每个样本的特征点进行标记^[4,6]。将所有形状对齐到一个平均形状上, 并使用 PCA 分析则可得到任一形状的表达:

$$x = \bar{x} + P_s b_s \quad (4)$$

其中, \bar{x} 是平均形状, P_s 是正交的特征向量矩阵, b_s 是形状参数集合。

为了建立人脸纹理模型, 先使用 Delaunay 三角形准则对每个样本进行变换以映射到平均形状, 之后对样本进行归一化处理, 最后使用 PCA 分析获得线性纹理统计模型:

$$g = \bar{g} + P_g b_g \quad (5)$$

其中, \bar{g} 是纹理样本的平均灰度值, P_g 是正交的特征向量矩阵, b_g 是灰度参数集合。

对任一人脸, 其形状和纹理模型可利用参数 b_s, b_g 来表示。由于形状和纹理之间的关联性, 需要进一步应用 PCA 方法。先建立 b_s, b_g 的连接向量:

$$b = \begin{pmatrix} W_s b_s \\ b_g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_s P_s^T (x - \bar{x}) \\ P_g^T (g - \bar{g}) \end{pmatrix} \quad (6)$$

其中, W_s 是一个对角矩阵, 用来调节形状模型和纹理模型之间的权重。再次应用 PCA 分析, 得到人脸对象的最终参数向量:

$$b = Qc \quad (7)$$

其中, Q 是特征向量, c 是外观参数向量, 用于控制形状模型和纹理模型。由于模型的线性特性, 我们可以直接用 c 表示形状模型和纹理模型:

$$x = \bar{x} + P_s W_s Q_s c \quad g = \bar{g} + P_g Q_g c \quad (8)$$

2.2 AAM 人脸定位

AAM 人脸定位过程就是在图像中搜索人脸对象, 并用 c 表示人脸对象的过程。定位运算是一个迭代运算。给定初始人脸模型估计参数 c_0 , 计算该估计参数下的人脸图像 g , 通过以下的迭代过程, 最终使人脸模型与被检测人脸图像的轮廓和纹理匹配。迭代过程如下:

算法 1 AAM 定位算法

- 1) 估计误差向量: $\delta_{g0} = g_i - g_m$;
- 2) 估计误差: $E_0 = |\delta_{g0}|^2$;
- 3) 计算预测位移 $\delta_c = A \delta_{g0}$;
- 4) 置 $k = 1$;
- 5) 令 $c_1 = c_0 - k \delta_c$;
- 6) 根据预测值 c_1 计算新的图像, 并计算新的误差向量 δ_{g1} ;
- 7) 如果 $|\delta_{gk}|^2 < E_0$, 算法收敛, 得到人脸外观参数向量 c_i ;
- 8) 否则, 令 $k = 1.5, k = 0.5, k = 0.25$ 等, 继续。

3 形状和纹理约束下的人脸自动对齐

Gabor 小波人脸特征点跟踪方法只依靠特征点的局部信息, 每个特征点都是独立进行跟踪, 没有充分利用人脸纹理和形状上的先验知识。由于某些特征点局部纹理不显著或不稳定, 因此, 被跟踪人脸表情变化或头部运动剧烈时, 容易出现跟踪失败的情况。AAM 人脸定位方法则充分利用了全局的形状和纹理信息, 通过优化模型参数, 可以获得较好的定位效果, 但在 AAM 人脸定位过程中, 需要在新图像中除边界部分之外的很大区域内搜索新对象。又由于 AAM 方法需要变化的参数非常多, 虽然已采用了一些性能优良的优化方法^[4,7], 但仍需要较长的运算时间。另外, 模型的初始位置对迭代结果也有一定影响, 如果初始位置不准, 会导致定位算法难以收敛, 从而使定位结果产生较大偏差。本文将这两种方法相结合, 利用 AAM 的全局形状和纹理信息作为约束, 对 Gabor 小波的局部跟踪错误进行校正。同时利用 Gabor 小波跟踪的结果作为 AAM 定位的初始位置, 缩短了 AAM 定位搜索及优化时间。

3.1 人脸仿射变换

人脸区域可以粗略地近似为一个满足仿射变换约束的二维平面^[8]。在这种假设下, 给定上一帧的形状位置, 由帧间的仿射变换参数就可以得到下一帧的预测值。利用 Gabor 小波跟踪的结果可以计算帧间仿射变换参数。只需保证至少跟踪上 3 个特征点, 就可以计算出相应的仿射变换参数。这样既充分利用了帧间的相似信息, 又提高了算法的鲁棒性。仿射变换可表示为:

$$S = AS^{-1} + b \quad (9)$$

其中, $S^{-1} = (x_1^{-1}, y_1^{-1}, x_2^{-1}, y_2^{-1}, \dots, x_k^{-1}, y_k^{-1})^T (k \geq 3)$ 表示上一帧的人脸特征点位置, $S = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_k, y_k)^T$ 表示当前帧的人脸特征点估计值。A 和 b 可以由最小二乘法拟合

得到。

3.2 AAM 约束下的人脸特征点的跟踪算法

算法描述如下:

算法 2 AAM 约束下的人脸特征点的跟踪算法

1) 初始化视频序列首帧,手工标注人脸主要特征点,如图 1 所示,得到点集 S^{-1} ;

2) 在当前帧中,用 Gabor 小波跟踪算法对点集 S^{-1} 进行跟踪,计算跟踪成功的特征点 S^0 ;

3) 删除跟踪失败的点,由 S^{-1} 和 S^0 拟合出仿射变换参数 A 和 b ;

4) 由上一帧跟踪结果 S^{-1} 及仿射变换参数 A 和 b 计算当前帧中的对应位置 S^0 ;

5) 将 S^0 作为当前帧的 AAM 初始形状,利用算法 1 得到当前帧最终定位形状 S ;

6) 令 $S^{-1} \leftarrow S$, 转 2)。

3.3 人脸图像对齐

利用算法 2 获得当前帧最终定位形状 S 后,即可对该帧图像中的人脸进行对齐处理。我们定义两眼及嘴作为参考点,利用这些参考点对人脸进行对齐,如图 2 所示,该过程可描述如下:

1) 根据最终定位形状 S ,选择左右眼及嘴,并分别定义这些点为 E_r, E_l 及 M ;

2) 定义线 $E_r E_l$ 的中点为 O ,并连接 OM ;

3) 利用图像几何变换,对图像进行旋转,使 $E_r E_l$ 成水平方向;

4) 利用图像几何变换,对图像进行缩放,使 $E_r E_l$ 及 OM 的长度相等;

以中心点 O 为参考点,进行人脸图像对齐,并提取人脸区域。

4 实验

利用上述算法,我们在 Matlab 下编程进行了仿真实验。AAM 训练样本为 50 幅正面人脸图像,每个样本手工标定各特征点,进行 AAM 训练,获取人脸外观模型及模型参数向量。对剩余的视频图像序列,应用上述算法进行人脸对齐实验。在每一组图像序列的首帧,我们先手工标注人脸主要特征点,然后对这些特征点进行跟踪,并利用图像几何变换进行人脸对齐。图 3 是特征点跟踪的部分实验结果。其中,(a)是首帧图像,手工标注人脸特征点,(b),(c),(d)是利用本算法跟踪的结果,可以看到,各特征点均能准确的跟踪到。图 4 是最终对齐后得到的标准人脸图像。本实验中,我们对 20 段图像序列中的 450 帧图像进行了跟踪实验。采用主观评判方法衡量跟踪结果。若某帧图像跟踪结果中出现一个特征点跟踪失败,则该帧图像跟踪错误,否则,跟踪正确。由于最后人脸对齐时只需要两眼及嘴附近的特征点作为参考点,因此,只要这些特征点跟踪正确,则可以得到准确的人脸对齐图像。表 1 是实验统计结果,可见效果是令人满意的。

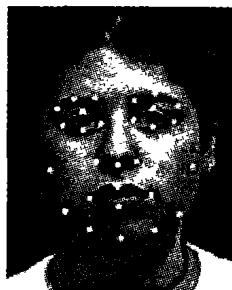


图 1 人脸特征点

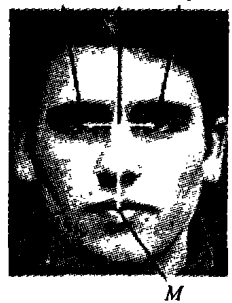


图 2 人脸图像的对齐

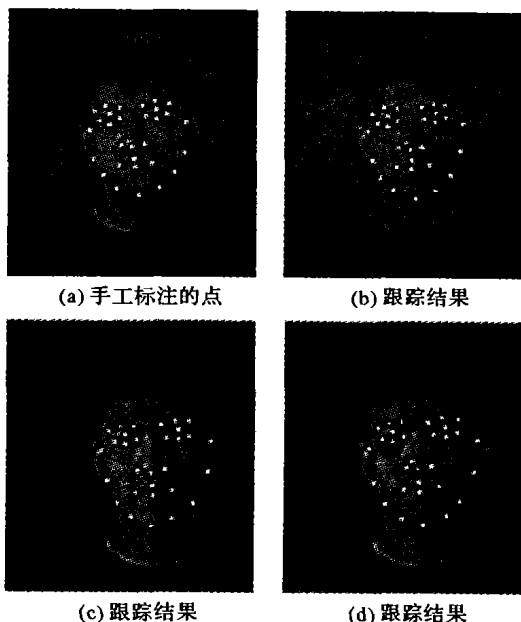


图 3 人脸特征点跟踪结果

表 1 实验统计结果

| 视频 段数 | 总帧数 | 正确跟 踪帧数 | 正确对 齐帧数 | 跟踪正 确率(%) | 对齐正 确率(%) |
|----------|-----|------------|------------|--------------|--------------|
| 20 | 450 | 406 | 433 | 90.2 | 96.2 |

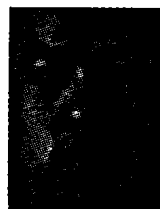


图 4 标准人脸

5 结语

本文将 Gabor 小波特征点跟踪算法与基于统计模型的 AAM 人脸特征点定位方法结合起来,实现了视频中人脸的自动对齐。利用 Gabor 小波进行特征点跟踪,其结果作为 AAM 的初始形状。利用 AAM 的全局形状和纹理信息作为约束,对 Gabor 小波的局部跟踪错误进行校正。实验表明,该方法是有效的。

参考文献:

- [1] DAUGMAN JG. Complete discrete 2D Gabor transform by neural network for image analysis and compression[J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1988, 36(7): 1169 - 1179.
- [2] WISKOTT L, FELLOUS JM, KRUGER N, et al. Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7): 775 - 779.
- [3] 颜蒋国, 潘立登. 基于 Gabor 小波的人脸特征点跟踪方法[J]. 计算机应用, 2004, 24(7): 50 - 51.
- [4] COOTES TF, EDWARDS GJ, TAYLOR CJ. Active appearance models[A]. Proceedings of the 5th European Conference on Computer Vision[C]. Springer-Verlag, 1998, 2: 484 - 498.
- [5] EDWARDS GJ, COOTES TF, TAYLOR CJ. Face recognition using active appearance models[A]. Proceedings of European Conference Computer Vision[C]. 1998. 581 - 695.
- [6] COOTES TF, TAYLOR CJ, COOPER DH, et al. Active shape models-their training and application[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1995, 61(1): 38 - 59.
- [7] EDWARDS GJ, COOTES TF, TAYLOR CJ. Advances in active appearance models[A]. Proceedings of International Conference on Computer Vision[C]. 1999. 137 - 142.
- [8] 宋刚, 艾海舟, 徐光祐. 纹理约束下的人脸特征点跟踪[J]. 软件学报, 2004, 15(11): 1607 - 1615.