

基于小波矩的面部特征匹配定位方法

章品正¹, 徐琴珍², 王 征¹

ZHANG Pin-zheng¹, XU Qin-zhen², WANG Zheng¹

1.东南大学 计算机科学与工程系 影像科学与技术实验室, 南京 211189

2.东南大学 无线电工程系 信号与信息处理实验室, 南京 211189

1.Lab of Image Science & Technology, College of Computer Science and Technology Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China

2.Lab of Signal and Information Processing, Department of Radio Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China

ZHANG Pin-zheng, XU Qin-zhen, WANG Zheng. Wavelet moment based facial feature matching and detection method. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(26): 245-248.

Abstract: Facial features contain important information for facial expression analysis and its intensity estimation. In this paper, a new facial feature detection method, which based on pyramid decomposition and wavelet moment, is proposed. It provides multi-resolution representation of the original images and combines images' globe and local information to detect the facial feature. Experimental results show that it can accomplish the facial feature detection even if facial feature's deformation is large.

Key words: wavelet moment; pyramid decomposition; feature point matching

摘 要: 面部特征是实现面部表情分类与刻画面部表情强度的重要信息。提出了结合金字塔分解技术和小波矩的面部特征匹配定位方法。该方法通过小波矩实现图像信息的多尺度表征, 而应用金字塔分解在金字塔图像各层之间传递信息并最终实现局部处理与全局处理之间的联系。实验结果表明, 提出的方法可以在面部特征发生较大形变时依旧取得较好面部特征匹配定位结果。

关键词: 小波矩; 金字塔分解; 特征点匹配

文章编号: 1002-8331(2007)26-0245-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

1 引言

面部形变信息的抽取与分析是实现面部表情分析的关键, 而稳定可靠的定位面部特征对于刻画面部形变信息具有重要的意义。现在越来越多的面部表情分析数据都来自于连续拍摄的录像中。这些录像都是从无表情的画面开始, 依次记录表情动作的演化以及面部形变状况。如何才能有效地获取图像序列中每一帧图像的面部特征位置是一个较困难的任务。针对这个问题, 许多学者提出了各自的解决方法。Lin 等人^[1]提出的算法分为两个阶段。在第一阶段应用区域增长法实现面部区域的估计, 在第二个阶段采用遗传搜索算法进行面部特征的抽取。Antoszczyszyn 等人^[2]抽取图像序列的前 M 帧的眼部、鼻子、嘴巴区域进行本征值分解得到本征向量, 然后以第 N 帧的面部特征定位结果作为第 $N+1$ 帧的初始位置并在第 $N+1$ 帧中将各个面部特征区域的中心在一定范围内移动形成第 $N+1$ 帧中的候选集, 最后在候选集中寻找最佳匹配结果实现面部特征抽取。Karin 等人^[3]通过形态学方法增强人脸特征区域与其他面部区域的灰度值差异并通过分水岭方法进行面部特征定位。Huang 等人^[4]通过改变形状参数对点分布模型进行移动与形变并根据面部灰度分布模型度量图像与模型的匹配程度, 通过这种方式找到匹配图像中面部特征区域的最佳模型并实现面部

特征定位。Goto 等人^[5]在面部区域上建立了坐标系并对面部特征的出现位置进行了统计与归一化处理, 然后通过高斯分布函数对面部特征的位置分布情况进行建模, 依据建模后的概率分布函数进行模型初始化, 最后将初始化后的模型分为两部分再应用概率分布函数进行模型匹配调整实现面部特征定位。Shih 等人^[6]通过向 x 和 y 方向进行投影得到 x 和 y 方向的灰度分布特性并结合人脸几何模型进行面部特征定位。Votsis 等人^[7]通过优化迭代方法得到面部特征的初始位置, 然后通过主动轮廓形变并使用模糊系统方法得到面部区域的旋转角度的估计, 最后依据面部特征的拓扑关系以及计算得到的面部区域的旋转角度实现面部特征的定位。Mu 等人^[8]依据时域信息进行背景滤除实现了可靠的人脸特征初始定位, 然后利用空域信息以及估计得到的初始位置实现面部特征区域的定位。总体来看, 稳定可靠地定位各个面部特征区域是一个困难的任务。针对这个目标, 本文提出一种结合金字塔图像分解技术和小波矩计算的特征点匹配预测方法进行帧间模型匹配预测。由于小波矩方法可以实现图像区域信息的多尺度表征, 而应用图像的金字塔分解可以在金字塔图像各层之间传递信息并最终实现局部处理与全局处理之间的联系, 因而本文提出的方法能够达到较好的面部特征定位效果。

作者简介: 章品正(1976-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为图像处理和模式识别; 徐琴珍(1976-), 女, 博士研究生, 主要研究方向为智能模型及其在网络安全中的应用; 王征(1976-), 男, 研究生, 主要研究方向为图像处理和虚拟现实。

2 基于小波矩的面部特征匹配定位方法

2.1 金字塔图像分解

金字塔图像分解通过对图像进行滤波得到原始图像的多分辨率表征。在金字塔分解的每一分解层次中,图像均是位于其上一层的图像经过某种对称紧支撑的滤波函数处理后所形成。多分辨率结构可以有效地实现许多图像算法。它可以分级互联方式使得底层低分辨率上所得的信息成为其上一层处理中的先验信息并最终实现了局部处理与全局处理之间的联系,因而被广泛的应用于图像处理与机器视觉领域中^[9-12]。

在构造这类对称紧支撑的滤波函数时选择的是在时域与频域均有良好紧支撑特性的高斯函数。具体的构建一维对称归一化高斯滤波器的方法如下:首先对于长度为 $2n+1$ 的一维高斯滤波器 $f(x)$ 使得它的取值为 $f(x)=\exp(-x^2/\sigma^2)$,其中 σ^2 取值为 $-(2n+1)^2/\ln(0.01)$, n 取值为5。接下来按照 $f(x)=f(x)/\sum f(x)$ 来对 $f(x)$ 进行归一化以得到归一化的高斯滤波器。得到了滤波函数之后,应用得到的高斯滤波函数对图像的行与列分别进行卷积滤波,在处理中对于图像的边界按照图像边界中的内容进行延拓。滤波结束之后,对于滤波所得的二维图像根据任意设定的缩放比例进行下采样。下采样过程借鉴图像插值的方法处理依据任意设定的缩放比例计算所得的坐标不是整数的情况。在本文中依据最近欧氏距离得到每一层金字塔中每一个位置上的灰度值。

2.2 小波矩

小波矩是一种新型的矩特征。它结合了小波特性与矩的特性,不仅具有旋转不变性而且还具有径向多分辨率特征,因而增强了对图像精细结构特征的代表能力。它的定义为^[13]:

$$F_{m,n,q} = \int S_q(r)\psi_{m,n}(r)rdr \quad (1)$$

$$S_q(r) = \int f(r,\theta)e^{jq\theta}d\theta \quad (2)$$

在上式中 $S_q(r) = \int f(r,\theta)e^{jq\theta}d\theta$ 对于固定 r 表示图像 $f(r,\theta)$

在相位区域 $\{0 \leq \theta \leq 2\pi\}$ 中的第 q 个频率特征。 $S_q(r)$ 表征图像 $f(r,\theta)$ 在半径区域 $r \leq 1$ 内的特征信息。而 $F_{m,n,q}$ 则是 $S_q(r)r$ 的小波变换。通过不同的缩放因子 m 和位移因子 n 可以实现图像信息的径向多分辨率表征。

通过式(1),式(2)定义的小波矩的模值在相同的半径 r 下具有旋转不变性,其证明如下:将小波矩重新写成如式(3)所示的极坐标形式:

$$F_{m,n,q} = \int \int f(r,\theta)\psi_{m,n}(r)e^{jq\theta}rdrd\theta \quad (3)$$

假设图像旋转 β 角,那么旋转后的小波矩为:

$$F'_{m,n,q} = \int \int f(r,\theta)\psi_{m,n}(r)e^{jq(\theta+\beta)}rdrd\theta = F_{m,n,q}e^{jq\beta} \quad (4)$$

$$\|F_{m,n,q}\| = \|F'_{m,n,q}\| \quad (5)$$

在实际计算中本文处理的是定义在笛卡尔坐标系下的离散图像,为了便于计算需要将积分运算变为离散求和,同时将极坐标系转换为离散的笛卡尔坐标系。下面本文给出具体的笛卡尔坐标系下离散小波矩的计算式子:

$$F_{m,n,q} = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y)\psi_{m,n}(r_{xy})\exp(jq\theta_{xy})\Delta x\Delta y$$

$$r_{xy} = \frac{\sqrt{2}}{2(N-1)} [(2i-N+1)^2 + (2j-N+1)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$\theta_{xy} = \arctan\left(\frac{2i-N+1}{2j-N+1}\right) \quad \Delta x = \Delta y = \frac{\sqrt{2}}{2(N-1)}$$

在径向小波基函数的选择中,本文选择具有良好的时频局部特性的三次B样条函数来构造小波矩中的小波函数。该函数形式如图1所示,其定义为^[14]:

$$\psi(r) = \frac{4a^{n+1}}{\sqrt{2\pi(n+1)}} \sigma_w \cos(2\pi f_0(2r-1)) \times \exp\left(-\frac{(2r-1)^2}{2\sigma_w^2(n+1)}\right) \quad (7)$$

式中 $n=3, a=0.697066, f_0=0.409177, \sigma_w^2=0.561145$ 。

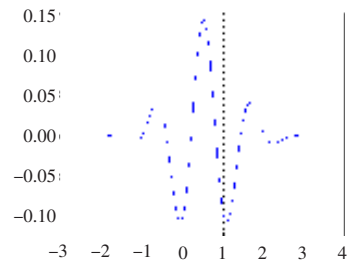


图1 三次B样条函数的小波基函数

由于图像区域被限制到 $r \leq 1$ 因而分别设置参数 $a = (0.5)^m, b = n(0.5)^{(m+1)}$ 。在 m 与 n 的取值范围分别设置为 $m = 0, 1, 2, 3, n = 0, 1, 2, \dots, 2^{m+1}-1$ 。因而可以得到 $\psi_{m,n}(r)$ 的表达式为:

$$\psi_{m,n}(r) = 2^{\frac{m}{2}} \psi(2^m r - 0.5n) = 2^{\frac{m}{2}} \times \frac{4a^{m+1}}{\sqrt{2\pi(n+1)}} \sigma_w \cos(2\pi f_0(2^{m+1}r - n - 1)) \times \exp\left(-\frac{(2^{m+1}r - n - 1)^2}{2\sigma_w^2(n+1)}\right) \quad (8)$$

在图2中给出了不同阶数以及偏移下的小波矩函数的示意图。从图中可以看出随着阶数 m 的上升小波矩函数的幅度而

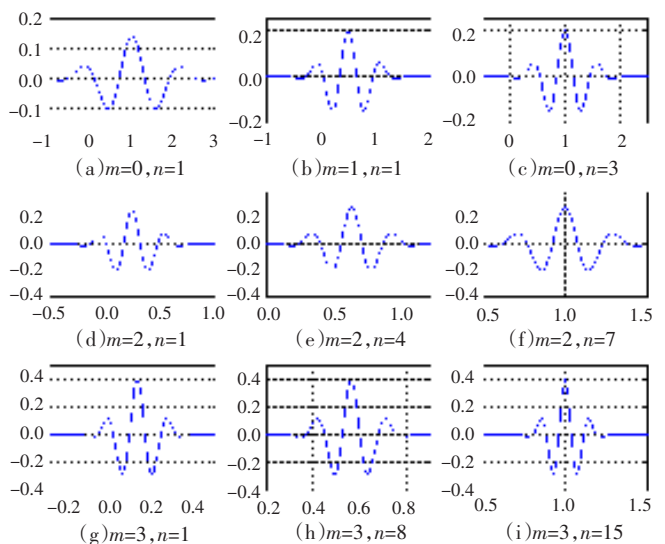


图2 在不同阶数以及偏移下的小波矩函数示意图

上升而支撑范围缩小。而随着平移 n 的变化小波矩函数的对称中心在 $[0, 1]$ 之间移动。

2.3 算法描述

在进行基于小波矩的匹配计算之前本文根据输入图像的大小进行金字塔分解层数的估算。本文采用的估算公式为:

$$scale\ number = \max(\text{floor}(\frac{\ln[\frac{\max(\text{width}, \text{height})}{200}]}{\ln 2} + 1.5), 1) \quad (9)$$

在这种估计方式下, $\max(\text{width}, \text{height})$ 在 280 以下就不进行金字塔分解, 在 280 到 560 之间进行一次金字塔分解。选择这种分解层数的估算方式是经验性的。从实际结果来看这种估算方式在金字塔的规模、局部信息处理和较大范围内信息处理等方面都是比较合适的。得到金字塔分解层数之后, 依据图像数据的尺寸以及分解层数的估算方法可得分解层数为 2。接下来对图像进行金字塔分解并将人脸模型也做对应的缩放得到与金字塔各个分解层次相关的模型组。本文以金字塔分解最上层的模型中的每一个点为中心取对应的图像中的 15×15 的矩形区域作为模板。对模板进行小波矩计算并将计算所得的小波矩的模值记为一个列向量。然后以相关系数为描述模板与待匹配图像各个区域相似程度的度量。相关系数的定义如下:

$$C(i, j) = \frac{\sum_l [WM_1(l) - \overline{WM_1}] [WM_2(l) - \overline{WM_2}]}{(\sum_l [WM_1(l) - \overline{WM_1}]^2 \sum_l [WM_2(l) - \overline{WM_2}]^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (10)$$

$l \in S$

式中 $\overline{WM_1}$ 与 $\overline{WM_2}$ 分别表示模板的小波矩值向量的均值以及待匹配图像区域的小波矩值向量的均值; 而 WM_1 表示模板的小波矩值向量而 WM_2 表示待匹配图像区域的小波矩值向量; 标记相关系数大于 0.85 的位置, 并求取这些位置在原始图像上的对应位置。然后在 31×31 的矩形区域范围内计算原始图像上的对应位置上的模板匹配相关系数, 取最大值的位置作为最终的结果。

3 实验结果与分析

本文的实验所用的数据全部来自卡内基梅隆大学的 Cohn-Kanade 面部表情数据库^[5]。在实验过程通过抽取 Candide 模型中的数据并结合人脸特征定位的目标对抽取的数据进行了部分修正本文得到了一个人脸模型组。在这个模型组中取出了人脸的外轮廓, 嘴部, 鼻子, 眼睛以及眉毛的位置。如图 3 所示。通过离散对称变换方法^[10]定位人眼位置并根据面部特征的固有几何比例实现人脸模型的初始化。接下来对图像序列的第一帧采用人脸模型初始化方法进行定位。对于随后的各帧图像



图 3 人脸模型组示意图

采用结合金字塔分解和小波矩的方法进行帧间匹配定位。部分匹配结果如图 4 所示。总体上这种方法能够较好地达到模型匹配定位效果。无论在五官发生较小形变和发生较大形变的情况下, 都能够做到随着面部特征的形变而准确调整各个特征点。



图 4 模型匹配结果示意图

4 结论

本文提出了一种结合金字塔图像技术和小波矩的面部特征匹配定位方法。该方法通过小波矩实现图像区域信息的多尺度表征, 而应用图像的金字塔分解在金字塔图像各层之间传递信息并最终实现局部处理与全局处理之间的联系。实验结果表明, 本文提出的方法可以取得良好的面部特征匹配定位结果。(收稿日期: 2007 年 1 月)

参考文献:

- [1] Lin C H, Wu J L. Automatic facial feature extraction by genetic algorithms [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1999, 8 (6): 834-845.
- [2] Antoszczyszyn P M, Hannah J M, Grant P M. Reliable tracking of facial features in semantic-based video coding [J]. IEE Proceedings on Vision, Image and Signal Processing, 1998, 145(4): 257-263.
- [3] Sobotka K, Pitas L. A novel method for automatic face segmentation, facial feature extraction and tracking [J]. Signal Processing: Image Communication, 1998, 12(3): 263-281.
- [4] Huang C L, Huang Yu-Ming. Facial expression recognition using

- model-based feature extraction and action parameters classification[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 1997, 8(3): 278-290.
- [5] Goto T, Lee W S, Magnenat-Thalmann N. Facial feature extraction for quick 3D face modeling[J]. Signal Processing: Image Communication, 2002, 17(3): 243-259.
- [6] Shih F Y, Chuang C F. Automatic extraction of head and face boundaries and facial features[J]. Information Sciences, 2004, 15(8): 117-130.
- [7] Votsis N G, Drosopoulos A I, Kollias S D. A modular approach to facial feature segmentation on real sequences[J]. Signal Processing: Image Communication, 2003, 18(1): 67-89.
- [8] Mu F H, Li H B, Forchheimer R. Automatic extraction of human facial features[J]. Signal Processing: Image Communication, 1996, 8(4): 309-326.
- [9] Burt P, Adelson E. The laplacian pyramid as a compact image code[J]. IEEE Transactions on Communications, 1983, 31(4): 532-540.
- [10] Fischer T. A pyramid vector quantizer [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1986, 32(4): 568-583.
- [11] Zan J, Ahmad M O, Swamy M N S. Multiplicationless burt and adelson's pyramids for motion estimation[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(1): 136-141.
- [12] Cantoni V, Petrosino A. Neural recognition in a pyramidal structure[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2002, 13(2): 472-480.
- [13] Shen D, Ip H H S. Discriminative wavelet shape descriptors for recognition of 2-D patterns[J]. Pattern Recognition, 1999, 32(2): 151-165.
- [14] Unser M, Aldroubi A, Eden M. On the asymptotic convergence of B-spline wavelets to Gabor functions [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1992, 38(2): 864-872.
- [15] Kanade T, Cohn J F, Tian Y I. Comprehensive database for facial expression analysis[C]//Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 2000: 46-53.
- [16] 姜璐. 基于矩和主分量分析的面部表情识别方法研究[D]. 南京: 东南大学影像实验室, 2004.

(上接 180 页)

和搜索, 构建了自适应的补偿模块, 满足了对光纤链路 PMD 实时补偿的要求, 具有一定的实际工程应用价值。

(收稿日期: 2007 年 4 月)

参考文献:

- [1] Kennedy J, Eberhart R C. A new optimizer using particles swarm theory[C]//Proc Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, Nagoya, Japan, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, 1995: 39-43.
- [2] 窦全胜, 周春光, 徐中宇, 等. 动态优化环境下的群核进化粒子优化方法[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(1): 89-95.
- [3] 高尚, 杨静宇. 群智能算法及其应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 112-118.
- [4] Timmis J, Hunt J. An artificial immune system for data analysis[J]. Biosystems, 2000, 55(1/3): 143-150.
- [5] 吴启迪, 汪镭. 智能微粒群算法研究及其应用[M]. 南京: 江苏教育出版社, 2005: 60-62.

(上接 241 页)

参考文献:

- [1] Cruz J, Marwan J R, Simaan A. Moving horizon nash strategies for a military air operation[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2002, 38(3): 989-998.
- [2] Cruz J, Marwan J R, Simaan A. Game-theoretic modeling and control of a military air operation[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2001, 37(4): 1393-1405.
- [3] Cruz J, Marwan J R, Simaan A. Modeling and control of military operations against adversarial control[C]//Proceedings of the 39th IEEE Conference on Decision and Control Sydney, Australia, 2000: 2581-2586.
- [4] 李相民, 张安, 张耀中. 多阶段对策理论在编队对地攻击效能评估中的应用[J]. 西北工业大学学报, 2006, 24(2): 147-151.
- [5] 张莉, 张安, 张永芳. 编队协同对地攻防对抗多级动态决策方法研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(增刊): 794-796.
- [6] 刘宝碇, 赵瑞清, 王纲. 不确定规划及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [7] 谢政. 对策论[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2004.
- [8] 刘宝碇, 彭锦. 不确定理论教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

(上接 244 页)

- [5] Davulecu H, Kifer M, Ramakrishnan C R, et al. Logic based modeling and analysis of workflows [C]//ACM Symposium on Principles of Database Systems. Seattle, Washington: ACM Press, 1998.
- [6] Use case maps Web page and UCM user group[EB/OL]. [1999]. http://www.UseCaseMaps.org.
- [7] 李长云, 阳爱民, 满君丰, 等. 一种面向按需集成服务的业务模型构造方法[J]. 计算机学报, 2006, 29(7): 81-89.
- [8] 胡军, 于笑丰, 张岩, 等. 基于场景规约的构件式系统设计分析与验证[J]. 计算机学报, 2006, 29(4): 513-525.
- [9] 张岩, 胡军, 于笑丰, 等. 场景驱动的构件行为抽取[J]. 软件学报, 2007, 18(1): 50-61.
- [10] 李长云, 李莹, 胡军, 等. 基于软件体系结构的反射工作流[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2005, 17(8): 1844-1850.
- [11] 王丹力, 华庆一, 戴国忠. 以用户为中心的场景设计方法研究[C]//第五届中国计算机图形学大会, 西安, 2004.