

一种改进的三维局部约束模型初始化方法

许进文,赵启军,陈 虎

(四川大学 视觉合成图形图像技术国防重点学科实验室,四川 成都 610065)

摘 要:三维局部约束模型(3D Constrained Local Model,CLM-Z)算法,综合利用灰度和深度信息检测三维人脸数据中的特征点(如眼角、鼻尖和嘴角),实现了较高的检测精度。CLM-Z 方法一般使用人脸位置和平均三维人脸模型进行初始化。设计了四个实验定量地分析 CLM-Z 参数初始化对算法精度的影响;在 BU-4DFE 库上评估 CLM-Z 算法精度;通过平移人脸边界框扰动平移参数的初始值;通过缩放人脸边界框扰动尺度参数的初始值;通过给定绕 y 轴和 z 轴的旋转角扰动旋转参数的初始值。实验结果表明,CLM-Z 算法可容忍平移扰动约为人脸宽的 $1/6$,在 $(0.75,1.50)$ 缩放范围内算法精度不会下降,可容忍 y 轴和 z 轴旋转角约 20° 。基于以上评估结果,进一步提出在纹理图像上检测特征点作为初始化,然后再进行 CLM-Z 迭代。在 BU-4DFE 数据库上的评估结果证明,该初始化方法能有效提升 CLM-Z 方法的特征点定位精度。

关键词:三维人脸特征点定位;三维局部约束模型;初始化;鲁棒级联姿态回归

中图分类号:TP391.4

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)01-0030-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.01.007

An Improved Initialization Method for 3D Constrained Local Model

XU Jin-wen,ZHAO Qi-jun,CHEN Hu

(National Key Laboratory of Fundamental Science on Synthetic Vision,Sichuan University,
Chengdu 610065,China)

Abstract:3D Constrained Local Model (CLM-Z) achieves high accuracy in detecting 3D facial landmarks (e. g. , eye corners,nose tip and mouth corners) via taking full advantage of both intensity and depth information. CLM-Z is conventionally initialized based on the location of face and mean 3D facial model. The effect of CLM-Z initialization on detection accuracy is evaluated quantitatively by carrying out the following experiments;assessing the accuracy of CLM-Z with the conventional initialization method on the BU-4DFE database, translating the face to perturb the initial value of translation parameter,varying the size of detected face to perturb the initial value of scale parameter,varying the rotation angles around y -axis and z -axis to perturb the initial value of rotation parameter. Experimental results show that CLM-Z can tolerate translations up to approximately $1/6$ of the width of the face,scalings between 0.75 and 1.50,and rotations within 20 degrees. Based on the above evaluation results,a novel initialization method is proposed further that exploits facial landmarks detected firstly on 2D texture images. Experiments on the BU-4DFE database show that the proposed initialization method can successfully improve the 3D landmark localization accuracy of CLM-Z approach.

Key words:3D facial landmark localization;3D Constrained Local Model (CLM-Z);initialization;Robust Cascaded Pose Regression (RCPR)

0 引 言

人脸特征点检测是人脸识别^[1-4]、表情分析^[5-6]、人脸动画^[7]等一个关键的中间步骤。由于光照、姿态、遮挡、表情等因素的影响,人脸特征点检测成为一个充满挑战的研究课题。为了解决这一问题,学术界做出了很多有价值的尝试,提出了不少方法,其中包括

CLM(Constrained Local Model)^[8]和它之后的各种扩展模型^[9-10]。这些方法均构建于人脸检测之上,但是没有评估人脸检测误差对特征点定位结果的影响。

Baltrušaitis 等提出的 CLM-Z 算法^[10],综合利用灰度和深度信息检测三维人脸上的特征点,其优势在于引入深度信息不仅可以降低光照变化的影响,而且还能减少孔径问题的干扰。初始化是应用 CLM-Z 的

收稿日期:2016-03-18

修回日期:2016-06-22

网络出版时间:2017-01-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61202160,61202161);科技部重大仪器专项(2013YQ49087904)

作者简介:许进文(1992-),女,硕士生,研究方向为三维人脸特征点检测;赵启军,副教授,硕士生导师,研究方向为模式识别、机器学习以及计算机视觉等;陈 虎,讲师,硕士生导师,研究方向为模式识别、图像处理等。

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170104.1102.090.html>

一个关键过程,涉及4个参数 $[s, \mathbf{R}, \mathbf{q}, \mathbf{t}]$ 。其中, $[s, \mathbf{t}]$ 的初始化依赖于所使用的人脸检测器^[11]得到的人脸位置,而且人脸检测偏差普遍存在于现实应用中。因此,文中认为研究初始化改变对CLM-Z检测精度的影响很有必要。

文中通过平移和缩放人脸边界框改变参数 $[s, \mathbf{t}]$ 的初始值,通过给定绕 y 轴和 z 轴的旋转角改变参数 \mathbf{R} 的初始值,在BU-4DFE数据库^[12]上系统地评估初始化对CLM-Z精度的影响和CLM-Z对初始化扰动的鲁棒性。基于以上评估结果,进一步提出使用RCPR^[13]在灰度图上检测结果的近似值初始化CLM-Z的参数 $[s, \mathbf{t}]$,使得这些特征点的初始位置更接近其真实值,达到提升CLM-Z检测精度的目的。

1 CLM-Z方法

CLM-Z方法的思想是将灰度和深度信息结合起来应用于人脸特征点检测,该模型可以使用参数集 $\mathbf{p} = [s, \mathbf{R}, \mathbf{q}, \mathbf{t}]$ 来描述。其中, s 表示缩放因子; \mathbf{R} 表示旋转矩阵; \mathbf{t} 表示二维平移量; \mathbf{q} 表示人脸形状的非刚性变化参数。模型表达式如下:

$$\mathbf{x}_i = s \cdot \mathbf{R}(\bar{\mathbf{x}}_i + \Phi_i \cdot \mathbf{q}) + \mathbf{t} \quad (1)$$

其中, $\mathbf{x}_i = (x, y)$ 表示第 i 个特征点在二维图像上的坐标; $\bar{\mathbf{x}}_i = (X, Y, Z)$ 表示平均三维模型中第 i 个特征点的坐标; Φ_i 表示第 i 个特征向量。

CLM-Z拟合目标的概率表达式如下:

$$P(\mathbf{p} | \{l_i = 1\}_{i=1}^n, I, Z) \propto P(\mathbf{p}) \prod_{i=1}^n P(l_i = 1 | \mathbf{x}_i, I, Z) \quad (2)$$

其中, $l_i \in \{1, -1\}$ 为离散随机变量,1和-1分别表示第 i 个特征点对齐和未对齐; $P(\mathbf{p})$ 为参数集 \mathbf{p} 的先验概率; $\prod_{i=1}^n P(l_i = 1 | \mathbf{x}_i, I, Z)$ 为候选点与第 i 个特征点对齐的联合概率,其中 $P(l_i = 1 | \mathbf{x}_i, I, Z)$ 使用Patch Experts计算。

1.1 Patch Experts

Patch Experts的作用是计算以人脸特征点为中心的周围邻域的响应图,Patch Experts可以选用距离矩阵(如马氏距离)、分类器(如线性支持向量机)或者回归器。CLM-Z选用基于分类器的Patch Experts,表达式为:

$$P(l_i | \mathbf{x}_i, I, Z) = 0.5 \times (P(l_i | \mathbf{x}_i, I) + P(l_i | \mathbf{x}_i, Z)) \quad (3)$$

其中

$$P(l_i | \mathbf{x}_i, I) = \frac{1}{\text{万方数据}} \frac{1}{1 + e^{dC_{I,i}(\mathbf{x}_i; I) + c}} \quad (4)$$

$$P(l_i | \mathbf{x}_i, Z) = \frac{1}{1 + e^{dC_{Z,i}(\mathbf{x}_i; Z) + c}} \quad (5)$$

$$C_{I,i}(\mathbf{x}_i; I) = \mathbf{w}_{I,i}^T P_I(\mathbf{W}(\mathbf{x}_i; I)) + b_{I,i} \quad (6)$$

$$C_{Z,i}(\mathbf{x}_i; Z) = \mathbf{w}_{Z,i}^T P_Z(\mathbf{W}(\mathbf{x}_i; Z)) + b_{Z,i} \quad (7)$$

式(4)和式(5)中, $C_{I,i}$ 和 $C_{Z,i}$ 分别为第 i 个特征点的灰度和深度分类器的输出; c 为逻辑回归器的截距; d 为回归系数。CLM-Z利用Patch Experts计算的概率 $P(l_i = 1 | \mathbf{x}_i, I, Z)$ 估计当前搜索位置是否与第 i 个特征点对齐。式(6)和式(7)中, $\{\mathbf{w}_i, b_i\}$ 为SVM的权重和偏置; $\mathbf{W}(\mathbf{x}_i; I)$ 为以点 \mathbf{x}_i 为中心的 $n \times n$ 图像邻域的向量化表达。

1.2 初始化方法

参数初始化是应用CLM-Z的必要步骤,该方法的初始化过程构建于人脸检测结果之上,如下:

$\mathbf{q} = 0$,即使用平均三维模型 $\bar{\mathbf{x}}$ 初始化;

$$s = \frac{1}{2} \times \left(\frac{\text{人脸边界框的 } w}{\bar{\mathbf{x}} \text{ 的 } w} + \frac{\text{人脸边界框的 } h}{\bar{\mathbf{x}} \text{ 的 } h} \right);$$

\mathbf{t} = 人脸边界框的中心 - ($s \cdot \bar{\mathbf{x}}$) 的中心;

$$\mathbf{R} = \mathbf{E}$$

2 初始化对CLM-Z精度影响的评估

2.1 实验数据集

文中选用包含101个对象的BU-4DFE数据库,每个对象有6种基本表情:生气、厌恶、害怕、快乐、悲伤以及惊讶。每个表情序列拥有约100帧三维模型以及83个特征点的三维真实位置。由于CLM-Z算法的输入是成对的具有像素级对应关系的灰度和深度图像,因此需要对库中的数据进行预处理。首先,间隔20帧选取三维模型,读取并输出每个三维模型对应的灰度图和深度图。然后,记录纹理和深度有效的位置,得到新的纹理图和深度图(如图1所示),以及预处理后所有特征点的二维真实位置。因为CLM-Z方法使用66个特征点,所以评估实验将在两个特征点集的交集上进行。图1中灰度图展示了文中使用的20个特征点及其序号,并定义8个白点为关键特征点,初始化改进实验将在8个关键特征点上进行。



图1 预处理后的灰度图和深度图以及20个特征点序号(白点表示关键特征点)

2.2 评估指标

计算每个特征点自动检测得到的坐标与二维真实位置之间的欧氏距离,并使用内眼角距离归一化,称作平均归一化拟合误差(简称 MNFE):

$$MNFE = \frac{1}{N \cdot E_n} \sum_{n=1}^N \sqrt{(x_n^* - x_n)^2 + (y_n^* - y_n)^2}$$

(8)

其中, N 为实验数据集中的图像对数目; E_n 为内眼角距离; (x_n^*, y_n^*) 为第 n 个特征点的真实位置; (x_n, y_n) 为自动检测得到的特征点位置。

2.3 参数 t 初始化对 CLM-Z 检测精度影响的评估

为了定量地评估参数 t 产生的影响,将通过沿 x 轴和 y 轴平移人脸边界框来扰动参数 t 的初始值,平移范围是 $(-30, +30)$ 像素,平移步长是 10 像素。图 2(a) 展示了沿 x 轴和 y 轴分别平移 -30 像素的情形,结果如表 1 所示。

由表 1 可知,在 $|x| \leq 20, |y| \leq 10$ 范围内平移人脸边界框几乎没有降低 CLM-Z 算法的精度,并且拟合误差在 0.13 以下。在 $|x| \leq 20, 10 < |y| \leq 20$ 范围内平移人脸边界框将会使 CLM-Z 算法的精度呈现下降的趋势,并且在 $(x = +20, y = -20)$ 处误差已达到 0.32,比 CLM-Z 传统初始化 $(x = 0, y = 0)$ 的误差增大了 0.21。在 $|x| \leq 30, 20 < |y| \leq 30$ 范围内平移人脸边界框将会大大降低 CLM-Z 的检测精度,其原因主要是这种程度的偏移量,人脸边界框已经远离人脸区域较远,特征点调整到准确值附近的难度更大,而最终停留在离特征点真实位置较远的位置处。

假定将 CLM-Z 使用的人脸检测器^[11]返回的人脸区域看作人脸位置的真实值,那么 CLM-Z 算法能够容忍的人脸边界框偏离范围大约是人脸大小的 1/6,如果偏离误差更大,将会导致 CLM-Z 的检测精度下降。

2.4 参数 s 初始化对 CLM-Z 检测精度影响的评估

为了定量地评估参数 s 初始化扰动对 CLM-Z 检测精度的影响,将通过缩放人脸边界框来扰动参数 s ,缩放比例是 $(0.5, 2)$,缩放步长是 0.05。

表 1 在伴有平移参数初始化扰动的情況下
所有特征点 MNFE 的平均值

	-30	-20	-10	0	10	20	30
-30	1.08	0.68	0.57	0.54	0.58	0.75	1.21
-20	0.72	.24	0.15	0.15	0.17	0.32	0.89
-10	0.34	0.11	0.11	0.11	0.11	0.13	0.60
0	0.28	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.45
10	0.37	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.44
20	0.96	0.28	0.12	0.12	0.13	0.30	0.88
30	1.09	0.73	0.64	0.75	1.21	1.64	

图 2 为参数初始化扰动示例。

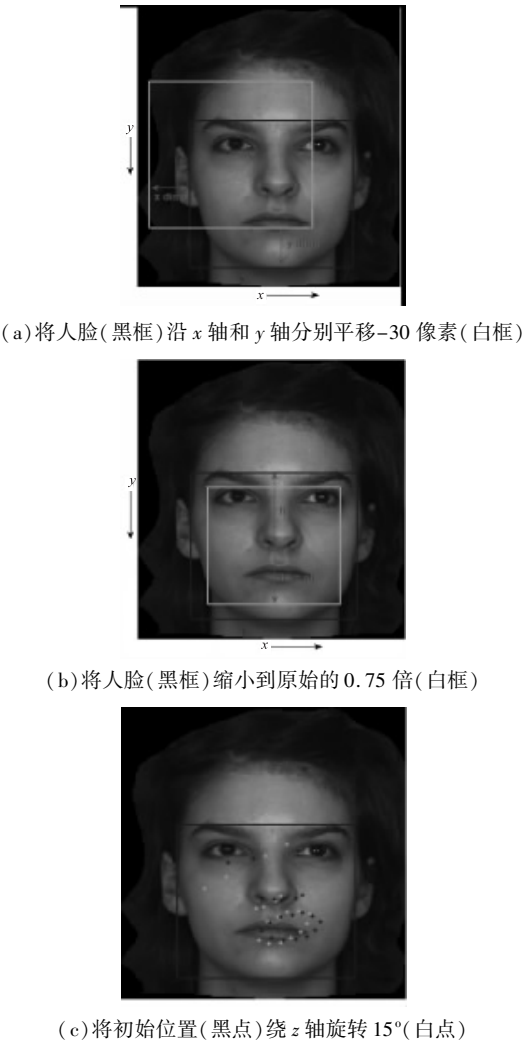


图 2 参数初始化扰动示例

图 3 展示了参数 s 初始值改变对 CLM-Z 算法拟合精度的影响。

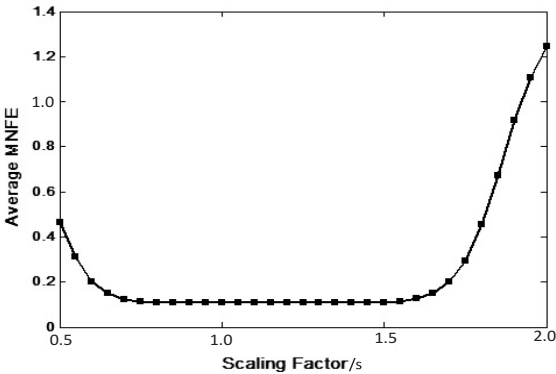


图 3 尺度参数初始化扰动对 CLM-Z 检测精度的影响

由图 3 可以看出,将原始人脸边界框的宽和高缩小至原来的 0.75 倍以下,所有特征点 MNFE 的平均值将会逐渐增大,误差增大幅度也会加大;而将原始人脸边界框的宽和高逐渐放大,直至 1.5 倍,CLM-Z 算法的精度都几乎没有受到影响。但是,当放大比例超过 1.5 倍时,拟合误差将会再次增大,检测精度的下降速

度逐渐加快。这主要是因为当人脸边界框的宽和高缩小至原来的 0.5 倍时,所有特征点的初始位置变得更接近,CLM-Z 算法区分出人脸不同部位的难度将会更大;同样地,当人脸边界框的宽和高放大倍数超过 1.5 倍时,人脸边界框将不同程度地越过图像边界,使得特征点的初始位置偏离图像过远,最终导致拟合误差变大。

由实验可知,CLM-Z 算法在(0.75,1.5)缩放范围内拟合精度稳定,这也说明了它对参数 s 的初始化扰动具有较强的鲁棒性。

2.5 参数 R 初始化对 CLM-Z 检测精度影响的评估

设计该实验的目的是明确参数 R 初始化对 CLM-Z 算法精度的影响。CLM-Z 的旋转矩阵 R 与变量 orientation 一一对应。传统 CLM-Z 初始化参数 R 为单位矩阵,即 orientation = [0;0;0],三个 0 分别表示绕 x 轴、 y 轴以及 z 轴的旋转角。文中将在初始化 R 时,给定绕 y 轴和 z 轴的旋转角,旋转范围是(-30° , $+30^{\circ}$),旋转步长是 10° 。图 2(c)为参数 R 初始化为单位矩阵和绕 z 轴旋转 15° 的特征点初始位置的示例,评估结果如表 2 所示。

表 2 在伴有旋转参数初始化扰动的情况下,所有特征点 MNFE 的平均值

	-30	-20	-10	0	10	20	30
-30	0.59	0.19	0.14	0.15	0.20	0.38	0.53
-20	0.50	0.13	0.12	0.11	0.12	0.17	0.30
-10	0.77	0.13	0.11	0.11	0.11	0.11	0.15
0	0.29	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.21
10	0.18	0.12	0.11	0.11	0.11	0.13	0.70
20	0.36	0.20	0.13	0.11	0.11	0.14	0.64
30	0.60	0.47	0.26	0.16	0.13	0.19	0.76

由表 2 可知,给定 y 轴旋转 $[-10^{\circ},+10^{\circ}]$ 同时 z 轴旋转 $[-20^{\circ},+20^{\circ}]$,对 CLM-Z 的精度几乎不会产生影响;在 z 轴 $[-10^{\circ},+10^{\circ}]$ 范围内,将 y 轴的旋转角扩展至 $[-20^{\circ},+20^{\circ}]$ 也没有导致 CLM-Z 精度的下降。而在 $y = \pm 30^{\circ}$, z 轴在 $[-30^{\circ},+30^{\circ}]$ 范围内,CLM-Z 算法都呈现出较高的拟合误差。

3 初始化方法的改进

文中将利用与图 1 中 8 个关键特征点对应的 CLM-Z 参数(称 8 点 CLM-Z)进行测试,评估实验结果,并与原始 CLM-Z(称 66 点 CLM-Z)的 8 个关键特征点的检测精度进行比较,对比结果见表 3。使用 66 点 CLM-Z 检测人脸特征点时,其中 8 个关键特征点的拟合误差远远低于使用 8 点 CLM-Z 时的误差,即当模型特征点数减少时,CLM-Z 算法的检测精度也随之下降,这很可能是因为特征点数的减少使有价值的相对位置信

息减少,并且人脸的全局几何约束和各人脸部位上特征点的交互也无法得到充分利用^[14]。

表 3 关键特征点的 MNFE 比较

方法	1	2	3	4	9	12	15	18	平均
66 点 CLM-Z	0.15	0.09	0.10	0.16	0.09	0.07	0.08	0.13	0.11
8 点 CLM-Z	0.64	0.45	0.43	0.56	0.73	0.58	0.68	0.78	0.61

因此基于上述实验对初始化影响的评估结果,文中进一步提出使用 RCPR^[13]在灰度图上检测 29 个特征点,然后提取其中 8 个关键特征点的检测结果,并用其近似值初始化 8 点 CLM-Z 的参数 $[s,t]$ 以使特征点的初始位置更接近其真实值。当分别使用两种初始化方法时,8 个关键特征点初始位置偏离其真实值的归一化距离见表 4。紧接着评估在使用文中提出的初始化方法后 8 点 CLM-Z 的检测误差,并与使用传统初始化方法时的误差作比较,如表 5 所示。

表 4 使用不同初始化方法时每个关键特征点偏离其真实位置的归一化距离

方法	1	2	3	4	9	12	15	18	平均
传统的初始化方法	0.96	0.81	0.83	0.99	0.94	0.48	0.95	0.99	0.87
提出的初始化方法	0.14	0.18	0.15	0.17	0.17	0.16	0.17	0.18	0.17

表 5 使用不同初始化方法时的检测误差比较

方法	1	2	3	4	9	12	15	18	平均
传统的初始化方法	0.64	0.45	0.43	0.56	0.73	0.58	0.68	0.78	0.61
提出的初始化方法	0.16	0.10	0.12	0.18	0.10	0.19	0.09	0.21	0.14

从表 4、5 可以看出,当使用文中提出的初始化方法时,8 点 CLM-Z 在序号 1、4、12 以及 18 上的拟合误差尽管略高于初始化的误差,但是总体来说,所有特征点 MNFE 的平均值比初始化误差的平均值降低了 0.03。更重要的是,8 点 CLM-Z 使用文中提出的初始化方法后总体误差比使用原始初始化方法降低 0.47,可见文中提出的初始化方法能够显著提升 8 点 CLM-Z 的检测精度,这也充分证明了该方法的有效性。

4 结束语

在 BU-4DFE 数据库上系统地评估了 CLM-Z 模型对参数初始化误差的敏感程度,详细地评估了原始 CLM-Z 算法的检测精度,并将其作为后续实验的对比基准,紧接着通过三个实验定量地评估了参数初始化对 CLM-Z 算法精确度的影响。基于实验对初始化影响的评估结果,进一步提出采用 RCPR 检测结果的近似值初始化 CLM-Z 参数的方法,实验结果证明该方法

- Topics in Signal Processing, 2014, 8(5): 742–758.
- [2] Rusek F, Persson D, Larsson E G, et al. Scaling up MIMO: opportunities and challenges with very large arrays [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2012, 30(1): 40–60.
 - [3] Larsson E, Edfors O, Tufvesson F, et al. Massive MIMO for next generation wireless systems [J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(2): 186–195.
 - [4] Lamare R C. Massive MIMO systems: signal processing challenges and future trends [C]//URSI radio science bulletin. [s. l.]: [s. n.], 2013: 183–188.
 - [5] Hakkarainen A, Werner J, Dandekar K R, et al. Widely-linear beamforming and RF impairment suppression in massive antenna arrays [J]. Journal of Communications and Networks, 2013, 15(4): 383–397.
 - [6] Qi J, Aïssa S. On the effect of power amplifier nonlinearity on MIMO transmit diversity systems [C]//IEEE international conference on communications. [s. l.]: IEEE, 2009: 1–5.
 - [7] Gregorio F H. Analysis and compensation of nonlinear power amplifier effects in multi-antenna OFDM systems [D]. Helsinki: Helsinki University of Technology, 2007.
 - [8] Saleh A A M. Frequency independent and frequency dependent nonlinear model of TWT amplifier [J]. IEEE Transactions on Communications, 1981, 29(11): 1715–1720.
 - [9] Rapp C. Effects of HPA-nonlinearity on a 4-DPSK/OFDM-signal for a digital sound broadcasting signal [C]//European conference on satellite communications. [s. l.]: [s. n.], 1991: 179–184.
 - [10] Rowe H E. Memoryless nonlinearities with Gaussian inputs: elementary results [J]. Bell Labs Technical Journal, 1982, 61(7): 1519–1526.
 - [11] Sulyman A I, Ibnkahla M. Performance of space time codes over nonlinear MIMO channels [C]//Eighth international symposium on signal processing and ITS applications. [s. l.]: [s. n.], 2005: 407–410.
 - [12] Qi J, Aïssa S. Impact of HPA nonlinearity on MIMO systems with quantized equal gain transmission [C]//International symposium on personal, indoor and mobile radio communications. [s. l.]: [s. n.], 2009: 2891–2895.
 - [13] Peel C B, Hochwald B M, Swindlehurst A L. A vector-perturbation technique for near-capacity multiantenna multiuser communication – part I: channel inversion and regularization [J]. IEEE Transactions on Communications, 2005, 52(1): 195–202.
 - [14] Spencer Q H, Swindlehurst A L, Haardt M. Zero-forcing methods for downlink spatial multiplexing in multiuser MIMO channels [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2004, 52(2): 461–471.
 - [15] 张贤达. 矩阵分析与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

(上接第 33 页)

能够有效提升 CLM-Z 的检测精度。

参考文献:

- [1] 谢文浩, 翟素兰. 基于加权稀疏近邻表示的人脸识别 [J]. 计算机技术与发展, 2016, 26(2): 22–25.
- [2] 祝磊, 朱善安. 基于二维广义主成分分析的人脸识别 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2007, 41(2): 264–267.
- [3] 孔万增, 朱善安. 基于正交补空间的人脸识别 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2008, 42(4): 571–573.
- [4] 赵武锋, 严晓浪. 基于多尺度梯度角和 SVM 的正面人脸识别方法 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2008, 42(4): 590–592.
- [5] 李文书, 何芳芳, 钱运涛, 等. 基于 Adaboost-高斯过程分类的人脸表情识别 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2012, 46(1): 79–83.
- [6] 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.
- [7] 姜大龙, 高文, 王兆其, 等. 面向纹理特征的真实感三维人脸动画方法 [J]. 计算机学报, 2004, 27(6): 750–757.
- [8] Cristinacce D, Cootes T F. Feature detection and tracking with constrained local models [C]//British machine vision conference. [s. l.]: [s. n.], 2006: 929–938.
- [9] Gu L, Kanade T. A generative shape regularization model for robust face alignment [C]//European conference on computer vision. Berlin: Springer, 2008: 413–426.
- [10] Baltrušaitis T, Robinson P, Morency L P. 3D constrained local model for rigid and non-rigid facial tracking [C]//IEEE conference on computer vision and pattern recognition. [s. l.]: IEEE, 2012: 2610–2617.
- [11] Zhu X, Ramanan D. Face detection, pose estimation, and landmark localization in the wild [C]//IEEE conference on computer vision and pattern recognition. [s. l.]: IEEE, 2012: 2879–2886.
- [12] Yin L, Chen X, Sun Y, et al. A high-resolution 3D dynamic facial expression database [C]//8th IEEE international conference on automatic face & gesture recognition. Amsterdam: IEEE, 2008: 1–6.
- [13] Burgos-Artiz X P, Perona P, Dollár P. Robust face landmark estimation under occlusion [C]//Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. Sydney: IEEE, 2013: 1513–1520.
- [14] Zhou E, Fan H, Cao Z, et al. Extensive facial landmark localization with coarse-to-fine convolutional network cascade [C]//Proceedings of the IEEE international conference on computer vision workshops. Sydney: IEEE, 2013: 386–391.