

基于人脸朝向的非穿戴自然人机交互

李雨龙¹,管业鹏^{1,2}

(1. 上海大学通信与信息工程学院,上海 200444;2. 新型显示技术及应用集成教育部重点实验室,上海 200072)

摘 要: 提出了一种新颖的基于人脸朝向的非穿戴人机交互新方法.采用主动形状模型确定人脸面部轮廓特征点,克服光照和人脸姿态变化影响,在简化冗余信息的同时,降低计算复杂度.基于最大三角化划分面部轮廓特征,在此基础上,基于 Kinect 摄像机将构建的二维人脸模型映射至三维空间,动态求解面部朝向的法向量,通过图像帧间的均值滤波确定空间交互目标.用户无需佩戴任何标记,且其活动不受约束,满足人机交互舒适性、多元性要求,实现非穿戴自然人机交互.通过实验对比,验证了本文方法有效、可行.

关键词: 人机交互;人脸朝向;非穿戴;面部几何模型

中图分类号: TP39 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2015)08-1583-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2015.08.017

Human Face Orientation Based Non-Wearable and Natural Human-Computer Interaction

LI Yu-long¹, GUAN Ye-peng^{1, 2}

(1. School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China;

2. Key Laboratory of Advanced Displays and System Application, Ministry of Education, Shanghai 200072, China)

Abstract: A novel non-wearable human-computer interaction (HCI) method has been proposed based on facial orientation. An active shape model is employed to locate some feature points in the facial contour which can be able to overcome the effects of illumination and facial posture variation. Some redundant information can be simplified. Moreover, HCI can be made in a real time. After a 2D facial geometric model being built based on the maximal triangulation of facial contour features, a calibrated Kinect sensor is used to map the geometric model into 3D coordinate. In order to determine the interacting target, the normal direction of facial orientation is calculated dynamically by a temporal median filter. Non-wearable and natural HCI modal can be realized in which the user can move freely without wearing any equipment or auxiliary markers. Besides, the need of comfort and diversity can be met simultaneously during HCI. Experiment results indicate that the developed approach is efficient and can be used to natural non-wearable HCI.

Key words: human-computer interaction; facial orientation; non-wearable; facial geometric model

1 引言

研究以人为中心的自然、和谐与高效人机交互技术日益受到人们的高度重视^[1].目前,人机交互仍迫使用户使用常规的输入设备(如键盘、鼠标和触摸屏等)进行输入,交互过程单调、呆板且严重制约了用户交互的自由性和灵活性.随着计算机技术的迅猛发展,交互方式更加多元化,出现了基于视觉、听觉、触觉及其多模态(亦称为通道)的体感交互设备,但这些设备仅针对特定交互场景,存在一定的使用局限性.其中, Kinect 和 Xtion Pro 不能有效感知细微人体关节; Leap Motion 仅适合于近距离交互; Google Glass 易干扰交互者的注意力;而 Myo 则对交互者衣着有明显限制.

由于在人类信息的获取中,80%以上来自于视觉,且 Mehrabian^[2]认为非言语在人类日常交互过程中发挥着重要作用,其中,93%来自于非言语.在非言语人类交互过程中,手势^[3]因其直观且易于学习而得到广泛应用.相对手势的多样性和多义性,指势(pointing gesture)则易于解释^[4].指势^[4~8]是人们日常生活中用手指对空间感兴趣目标的反映,可揭示人类社会智力^[5],是一种理想的自然人机交互模式^[6],但因在交互过程中需用户抬手指向其前方交互目标,其适用范围有限,尤其是上肢功能障碍的人群.相对于指势或手势,采用视线进行人机交互^[9,10]则更加迅捷,但由于微小的眼球移动,将产生较大的视线变化,因此,基于视线的人机交互方法不利于远程交互.为克服上述不足,基于多模态人机交

互方法^[11~13],则可利用多种感知模态的互补性,在充分发挥人类日常技能的基础上,提高人机交互的有效性,但需提出有效模态融合策略。

与上述所提交互模态(手势、指势、视线以及多模态)相比,人脸在人们日常生活中发挥着重要作用,其面部特征不仅可直观、有效地传达丰富的视觉信息,且可通过人脸朝向显性或隐性地表达其感兴趣的目标。采用人脸朝向进行人机交互,关键之一是如何有效确定人脸朝向,目前已提出了较多人脸朝向确定方法。其中,基于外观匹配模板的方法^[14~16]需事先采集实验对象的特征数据进行训练,识别过程中仅能估计离散面部朝向,随着实验对象和实验场景的变化将导致人脸朝向估计不稳定,且增加模板将导致计算更加耗时,因而难满足人机交互实时性要求;利用人脸特征进行机器学习,训练各方向的人脸朝向检测器^[17,18],该法虽可适用于低分辨率图像,但随着检测器的增加,训练样本分类难度将显著增加,且因相邻检测器间存在串扰,导致其难以有效应用于实际人机交互中;基于人脸面部五官特征构建人脸模型的方法^[19],因仅利用面部五官特征,而未充分利用面部其他特征,因此其确定人脸朝向有效性低;基于非线性回归获取非射函数^[20],将采集的人脸图像映射为对应的人脸朝向,而映射结果很大程度上取决于非线性回归工具的选择。

针对上述不足,提出了一种新颖的基于人脸朝向的非穿戴人机交互新方法。论文主要贡献如下:(1)采用主动形状模型确定人脸面部轮廓特征点,克服光照和人脸姿态变化影响,在简化冗余信息的同时,降低计算复杂度;(2)基于最大三角化划分面部轮廓特征,构建人脸面部几何模型;(3)基于刚体不变性的鼻尖点为三维人脸朝向的坐标原点,动态求解面部朝向的法向量,结合图像帧间均值滤波确定用户交互目标。用户无需佩戴任何设备或有助于识别的辅助标志,实现非穿戴自然人机交互。

2 二维人脸面部几何模型构建

人脸作为非刚体模型,因而,在确定人脸朝向时易受面部形变、姿态以及表情等因素影响^[21]。为克服上述不利

因素影响,Cootes 等人提出了一种主动表现模型(Active Appearance Model, AAM)^[22]方法,但该法对光照变化敏感且较主动形状模型(Active Shape Model, ASM)^[23]算法耗时^[24]。基于人机交互实时性以及场景和人脸姿态变化的多样性要求,因 ASM^[23]可根据人脸姿态定位人脸特征点,并适应场景光照变化,因此,文中基于 ASM^[23]定位面部轮廓特征点,并构造面部的几何模型。

利用 Kinect 获取的彩色图进行基于 Viola-Jones 方法^[25]的人脸检测搜索,根据此人脸矩形拟合框的大小及位置初始化缩放、旋转以及平移参数,得到如下初始形状特征点向量 X_i^0 :

$$X_i^0 = \mathbf{M}(S, \theta)(\overline{X_i^*} + P_m b_m) + t \quad (1)$$

式中, $\mathbf{M}(S, \theta)$ 为旋转、缩放变换矩阵, S 为缩放尺度, θ 为旋转角度, t 为平移变量, $\overline{X_i^*}$ 为样本均值向量, P_m 为经 PCA 降维后的前 m 主成分轴, b_m 为经 PCA 降维后的前 m 主成分轴的加权重。

当人脸朝向发生偏转时,根据前后两帧之间人脸的相对运动以及交互对象骨架头节点,确定人脸位置,并根据(1)对面部特征点轮廓线法线方向搜索最佳特征点位置,调整当前姿态参数(S, θ, t)以及形状参数 b_m 以更新形状模型。

基于人脸面部轮廓特征点处于同一三维平面,选取面部 N 个轮廓特征点描述轮廓特征信息(图 1(b)),并对 N 个面部轮廓特征点进行编号(图 1(c)),以确保人脸面部轮廓特征间的相对位置关系不因人脸姿态变化而变化。根据三个空间点唯一确定一空间平面,将编号的轮廓特征点进行最大三角化划分,以降低计算复杂度。同时,在三角化划分过程中,三角形不重复且三角形的三个顶点均匀分布在面部轮廓线上,将所划成的 M 个三角形构成 M 个相互独立的空间平面,如图 1(d)所示。

$$\{(A, B, C) | \lfloor N/3 \rfloor \leq \|A - B\|, \|B - C\| \leq \lceil N/3 \rceil\} \quad (2)$$

式中, (A, B, C) 为三角形的三个顶点, N 为轮廓特征点的个数, $\lfloor \cdot \rfloor$ 与 $\lceil \cdot \rceil$ 分别为取下底和上顶运算符, M 为划分后的三角形的数量即集合的总数。

将人脸面部轮廓特征点满足(2)的三角形构建人脸面部几何平面模型,如图 1(d)所示。

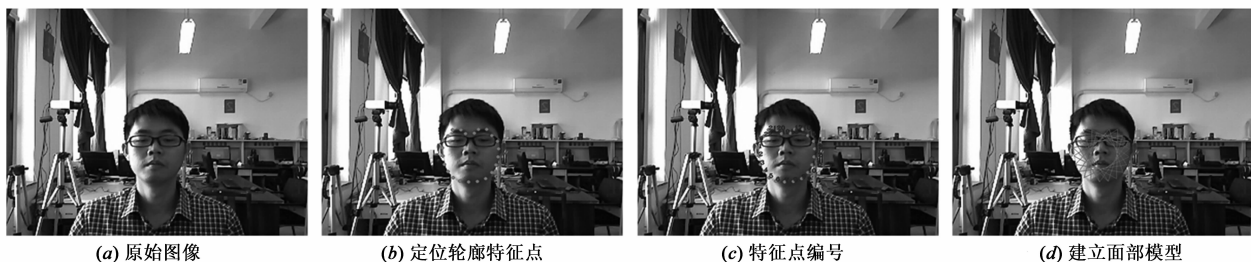


图1 基于轮廓特征点的面部模型构造

3 基于人脸朝向的目标识别

由于 Kinect 彩色摄像机获取的彩色图与其红外摄像机获取的深度图无法完全吻合,不能将上述构造的二维人脸面部几何平面模型有效地映射至对应的三维空间,因此,需对 Kinect 标定^[26].基于 Kinect 标定结果,可依据二维彩色图所确定的人脸面部轮廓特征点的二维图像坐标 (u_{RGB}, v_{RGB}) ,获取其对应的红外摄像机的三维坐标值 (X_{IR}, Y_{IR}, Z_{IR}) .

基于上述确定的人脸面部轮廓特征点的三维坐标信息,建立人脸面部的三维空间几何模型,并分别对三角形划分后的每一个三角形求出其所在平面的法向量:

$$\mathbf{n} = \mathbf{AB} \times \mathbf{AC} \quad (3)$$

式中, \mathbf{n} 为三角形所在平面法向量, \mathbf{AB} 和 \mathbf{AC} 为三角形所在平面的向量, \times 为向量叉乘运算符.

为确定人脸朝向所交互目标,将法向量 \mathbf{n} 以刚体不变性的鼻尖点 $N_0 = (X_n, Y_n, Z_n)$ 为原点作射线,与坐标系 $Z=0$ 平面相交于空间点 $T = (X_t, Y_t, 0)$,视该点 T 为交互目标的空间点:

$$T = N_0 + \mathbf{n} \cdot c_0 \quad (4)$$

式中, c_0 为调整系数.

由于 Kinect 在获取深度信息过程中,不可避免地存在遮挡,易在物体边缘形成空洞^[27],导致无法获取其深度值;此外,基于人脸朝向进行人机交互时,人脸面部不可避免地存在波动,导致基于人脸面部不同三角形求得的交互目标空间点难汇聚到同一交互点.

上述不利因素,将导致基于式(4)所确定的各个三角形人脸朝向交互目标空间点 T 存在误差.为克服上述不利因素影响,采用剔除极值法,剔除基于 M 个三角形所确定的 T_M 点中最大和最小各 20% 的数据 T ,保留剩余的 M^* 个 T_{M^*} 点.同时,对 k 帧图像的 T 点做如下帧间均值滤波,以确定稳定的交互目标空间点 \bar{T} :

$$\bar{T} = \frac{1}{k \cdot M^*} \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=0}^{M^*-1} T_{(i,j)} \quad (5)$$

式中, $T_{(i,j)}$ 为当前图像帧的前第 i 帧的第 j 个三角形平面求解出的交互目标空间点, k 为帧间均值滤波帧数(将后续讨论、说明).

4 实验结果与分析

为验证本文方法的有效性,基于如图 2 所示的实验装置进行实验,并采用多人工作与学习的实验室作为人机交互场景.场景中的用户无需佩戴任何有助于特征识别的标志物,他们随意站立于 Kinect 摄像机前方,自由活动或走动,按照各自的习惯,通过其面部朝向控制布置在墙面上等间隔为 60cm 的 3×3 共 9 盏白炽灯阵列的开启/关闭.

4.1 参数讨论与分析

由上述分析知:式(5)中的滤波帧数 k 对面部朝向交互目标的确定存在一定程度影响,其取值过大易导致交互目标空间点 \bar{T} 收敛慢,取值过小则易引起交互目标空间点 \bar{T} 不稳定.

为获取合适的 k 值,基于图 2 所示的实验装置进行实验.采用交互目标空间点 \bar{T} 的标准差表征交互目标空间点的稳定性,标准差越小,表明交互目标空间点越稳定.其中,所得实验结果如图 3.由图 3 知,当 $k > 8$ 后,交互目标空间点 \bar{T} 标准差变化幅度趋于稳定.因此,取 $k = 8$,并在实验中保持不变.

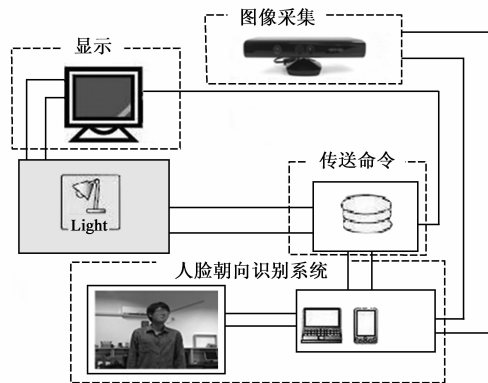


图2 基于人脸朝向人机交互实验装置示意图

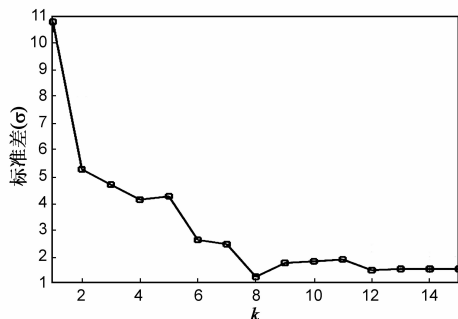


图3 交互目标空间点标准差随参数k的变化

若在交互场景中检测某用户在连续 8 帧内,其面部稳定朝向交互目标点 \bar{T} ,则表明该用户具有人机交互意图,而被选择为交互用户对象;若场景中同时存在上述具有人机交互意图的多个用户对象,则随机选取其中某位用户为交互对象.同时,为确保场景中的具有交互意图的用户机会均等地参与人机交互,基于 Kinect 所获取的场景中各用户的骨架信息进行不同用户区分,当某位用户完成人机交互后,动态选取其他用户进行人机交互.

4.2 交互目标识别结果分析

为验证本文方法在实际交互复杂场景下确定交互目标的有效性,基于 OpenCV 和 OpenNI 库, Pentium

E5300 2.60GHz 双核 CPU, VS2010 C/C++ 编译环境, 由身高在 1.55m 至 1.90m 之间, 年龄在 20 岁至 60 岁之间的 30 名研究生及教师志愿者参与实验. 他们依照各自行为习惯, 随意站立于距离交互目标 2~4m 处, 采用其面部朝向自然、无束缚地参与人机交互实验.

由上述志愿者进行不同光照条件下的交互实验, 部分实验结果如图 4 所示. 图 4 上排场景主要受到交互用户背面的自然光及镜面反射光、白炽阵列目标灯泡等光照变化影响, 而下排交互场景则主要受到室内日光灯、白炽阵列目标灯泡及工作灯台等光源变化影响.

由图 4 部分交互结果知: 在上述不利光照变化影响下, 本文方法有效地确定了交互目标灯泡的开启.



图 4 不同光照变化下的人机交互结果

为测试与验证本文方法在多人拥挤实际交互场景下的有效性, 场景内多个用户随意走动, 且行动自然, 其中部分用户的人脸面部无意识朝向, 而部分用户则交互意图明显, 部分实验结果如图 5 所示.



图 5 多人拥挤交互场景下的人机交互结果

由图 5 部分结果知: 本文方法在多人拥挤实际交互

场景下, 仍能有效感知交互用户并实现正确交互目标的识别. 上述部分实验结果, 定性地表明本文方法有效、可行.

为定量评价本文方法的有效性, 分别对上述具有不同交互习惯的志愿者进行交互目标的识别统计实验, 所得实验结果如表 1. 其中, L_1, \dots, L_9 分别为 3×3 共 9 盏白炽灯阵列编号.

表 1 基于人脸面部朝向的人机交互结果统计

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9
L_1	95.2%	2.1%	0	1.9%	0.8%	0	0	0	0
L_2	1.2%	94.9%	1.6%	0.4%	1.4%	0.5%	0	0	0
L_3	0	1.5%	95.7%	0	0.9%	1.9%	0	0	0
L_4	0.5%	0.4%	0	96.6%	1.1%	0	0.8%	0.6%	0
L_5	0.3%	0.9%	0.5%	1.1%	93.6%	1.4%	0.5%	1.1%	0.6%
L_6	0	0.6%	0.9%	0	1.5%	95.4%	0	0.4%	1.2%
L_7	0	0	0	2.3%	1.5%	0	93.1%	3.1%	0
L_8	0	0	0	0.2%	0.6%	0.3%	0.8%	97.2%	0.9%
L_9	0	0	0	0	1.0%	1.8%	0	1.9%	95.3%

为进一步定量评价本文方法的有效性, 在同一实验环境下, 分别与文献^[7,11,19]方法进行同等条件下的实验对比, 对比结果如表 2.

表 2 不同方法交互目标识别结果统计

目标	识别率(%)			
	文献[7]	文献[11]	文献[19]	本文方法
1 #	93.3	82.5	86.2	95.2
2 #	91.9	95.6	84.4	94.9
3 #	91.7	94.1	86.3	95.7
4 #	94.8	82.5	89.2	96.6
5 #	91.2	81.8	84.8	93.6
6 #	93.7	85.6	82.1	95.4
7 #	91.2	94.2	84.3	93.1
8 #	92.6	92.1	86.1	97.2
9 #	94.1	84.2	86.4	95.3

此外, 为评价本文方法的时效性, 分别对上述方法进行了基于分辨率为 640×480 (pixels) 的视频图像进行每帧处理的耗时统计, 所得结果如表 3.

表 3 不同方法的平均耗时统计

文献[7]	文献[11]	文献[19]	本文方法
62ms	116ms	48ms	52ms

经上述实验验证与对比知: 本文方法的人机交互性能具有高的鲁棒性和实效性, 可满足不同光照以及人脸面部姿态变化和多人拥挤场景下的非穿戴自然人

人机交互需求.

5 结论

针对目前人机交互方法存在的不足,提出了一种基于人脸朝向的非穿戴自然人机交互新方法,用户无需佩戴任何标记,且其活动不受约束,满足交互活动的舒适性和自然性要求.采用 ASM 确定人脸面部轮廓特征点,代替面部其他器官(眼睛、嘴、鼻等)特征点,在简化冗余信息的同时,降低计算复杂度,保证人机交互的实效性.将所得面部轮廓特征点进行基于最大三角化网格划分,构建人脸面部几何模型.基于刚体不变性的鼻尖点为三维人脸朝向的坐标原点,动态求解面部朝向的法向量,通过图像帧间的均值滤波确定空间交互目标,以提高基于人脸朝向人机交互的正确性与鲁棒性.实验结果表明,本文方法有效、可行.在今后的实验研究中,将进一步在复杂、拥挤场景下的人机交互开展工作.

参考文献

- [1] 管业鹏. 基于多模态视觉特征的自然人机交互[J]. 电子学报, 2013, 41(11): 2223 - 2229.
Guan Y P. Multimodal visual features based natural human-computer interaction [J]. Acta Electronica Sinica, 2013, 41(11): 2223 - 2229. (in Chinese)
- [2] Mehrabian A. Communication without words [J]. Psychology Today, 1968, 2(4): 53 - 56.
- [3] Van den Bergh M, Van Gool L. Combining RGB and ToF cameras for real-time 3D hand gesture interaction [A]. Proceedings of IEEE Workshop on Applications of Computer Vision [C]. Kona, United States: IEEE Computer Society, 2011. 66 - 72.
- [4] 管业鹏. 复杂人机交互场景下的指势用户对象识别[J]. 电子学报, 2014, 42(11): 2135 - 2141.
Guan Y P. Pointing user recognition in human-computer interaction with cluttered scene [J]. Acta Electronica Sinica, 2014, 42(11): 2135 - 2141. (in Chinese)
- [5] Enfield N J, Kita S, Ruiter de J P. Primary and secondary pragmatic functions of pointing gestures [J]. Journal of Pragmatics, 2007, 39(10): 1722 - 1741.
- [6] Colombo C, Bimbo A D, A. Valli. Visual capture and understanding of hand pointing actions in 3-D environment [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 2003, 33(4): 677 - 686.
- [7] Van den Bergh M, Carton D, Nijs R D, et al. Real-time 3D hand gesture interaction with a robot for understanding directions from humans [A]. Proceedings of IEEE International Workshop on RO-MAN [C]. Atlanta, United States: IEEE, 2011. 357 - 362.
- [8] Pan J, Guan Y P. Human-computer interaction using pointing gesture based on an adaptive virtual touch screen [J]. International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, 2013, 6(4): 81 - 92.
- [9] 程成, 杜菁菁, 蓝飞翔. 眼动交互的实时线性算法构造和实现 [J]. 电子学报, 2009, 37(4A): 12 - 15.
Cheng C, Du J J, Lan F X. Research and realization on real-time linear prediction algorithm for desktop eye-tracking [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(4A): 12 - 15. (in Chinese)
- [10] Sugano Y, Matsushita Y, Sato Y. Appearance-based gaze estimation using visual saliency [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(2): 329 - 341.
- [11] Tu Y J, Kao C C, Lin H Y. Human computer interaction using face and gesture recognition [A]. Proceedings of IEEE International Conference on Signal and Information Processing [C]. Kaohsiung, Taiwan: IEEE Computer Society, 2013. 1 - 8.
- [12] Agrawal A, Raj R, Porwal S. Vision-based multimodal human-computer interaction using hand and head gestures [A]. Proceedings of IEEE International Conference on Information and Communication Technologies [C]. Thuckalay, India: IEEE Computer Society, 2013. 1288 - 1292.
- [13] Carrino S, Péclat A, Mugellini E, Abou Khaled O, Ingold R. Humans and smart environments: a novel multimodal interaction approach [A]. Proceedings of ACM International Conference on Multimodal Interaction [C]. Alicante, Spain: Association for Computing Machinery, 2011. 105 - 112.
- [14] Beymer D J. Face recognition under varying pose [A]. Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C]. Seattle, United States: IEEE, 1994. 756 - 761.
- [15] Zhu Y, Fujimura K. Head pose estimation for driver monitoring [A]. Proceedings of IEEE Conference on Intelligent Vehicles Symposium [C]. Parma, Italy: IEEE, 2004. 501 - 506.
- [16] Huang K S, Trivedi M M. Robust real-time detection, tracking and pose estimation of faces in video streams [A]. Proceedings of IEEE Conference on Pattern Recognition [C]. Cambridge, United Kingdom: IEEE, 2004. 3: 965 - 968.
- [17] Zhang Z Q, Hu Y X, Liu M, Huang T. Head pose estimation in seminar room using multi view face detectors [A]. Proceedings of International Conference on Multimodal Technologies for Perception of Humans [C]. Southampton, United Kingdom: Springer Verlag, 2007. 299 - 304.
- [18] Yang J L, Liang W, Jia Y D. Face pose estimation with combined 2D and 3D HOG features [A]. Proceedings of IEEE Conference on Pattern Recognition [C]. Tsukuba, Japan: IEEE, 2012. 2492 - 2495.
- [19] Heo J, Savvides M. Generic 3D face pose estimation using facial shapes [A]. Proceedings of International Conference on

- Biometrics[C]. Washington DC, United States: IEEE Computer Society, 2011. 1 – 8.
- [20] Ma Y, Konishi Y, Kinoshita K, Lao S, Kawade M. Sparse Bayesian regression for head pose estimation[A]. Proceedings of International Conference on Pattern Recognition[C]. Hong Kong, China: IEEE, 2006. 3: 507 – 510.
- [21] Ma B, Shan S, Chen X, Gao W. Head yaw estimation from asymmetry of facial appearance[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part B, 2008, 38(6): 1501 – 1512.
- [22] Cootes T F, Edwards G J, Taylor C J. Active appearance models[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(6): 681 – 685.
- [23] Cootes T F, Taylor C J, Cooper D H, Graham J. Active shape models-their training and application[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1995, 61(1): 38 – 59.
- [24] Kittipanya-ngam P, Cootes T F. The effect of texture representations on AAM performance[A]. Proceedings of IEEE Conference on Pattern Recognition[C]. Hong Kong, China: IEEE, 2006. 2: 328 – 331.
- [25] Viola P, Jones M. Robust real-time face detection[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 57(2): 137 – 154.
- [26] Daniel H, Kannala J, Heikkilä J. Joint depth and color camera

calibration with distortion correction[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 34(10): 2058 – 2064.

- [27] Qi F, Han J Y, Wang P J, Shi G M, Li F. Structure guided fusion for depth map inpainting[J]. Pattern Recognition Letters, 2013, 34(1): 70 – 76.

作者简介



李雨龙 男, 1988 年生于湖南岳阳, 上海大学通信与信息工程学院硕士研究生. 主要研究方向为人机交互、智能信息感知与处理、计算机视觉与模式识别.

E-mail: lylshu@163.com



管业鹏(通信作者) 男, 1967 年 6 月生于湖北孝感, 工学博士, 上海大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为智能信息感知与处理、计算机视觉与模式识别、智能监控与安全防范.

E-mail: ypguan@shu.edu.cn