

未来人居中的智能美妆：数字化妆镜交互技术及其应用

孙喆^{1,2}, 席雪宁^{1,2}, 徐迎庆^{1,2*}

1. 清华大学美术学院, 北京 100084

2. 清华大学未来实验室, 北京 100084

摘要 随着人工智能、物联网等技术的发展, 家居智能化成为新趋势。在购物消费、日常娱乐中, 美妆行业表现出了巨大的市场潜力, 美妆领域的智能化亦成为一个有趣的研究方向。围绕未来人居中的智能美妆系统, 从基于镜面的人机交互设计、智能美妆相关算法、数字化妆镜系统相关交互技术3个方面, 综述了国内外相关研究进展, 分析了未来数字化妆镜系统的应用场景, 总结了数字化妆系统的搭建思路与交互方案。

关键词 智能家居; 自然交互; 智能美妆; 体验设计

颜值经济时代下, 美妆行业成为朝阳产业, 无论是在购物消费场景还是在日常娱乐行为中, “美妆”都是一个热门类别, 美妆需求渐渐成为部分人群的刚需。受疫情影响, 美妆领域的消费行为呈现报复式增长, 引起了大量行业分析机构的注意, 如阿里妈妈商业营销中心、百度营销中心、Google 数据中心、Seven 行业分析、TalkingData 数据中心等, 均推出了美妆领域的行业报告。在这样的市场氛围中, 多样化创新型营销手段刺激了人群化妆需求的增长, 增长的需求催生了“智能美妆”领域的兴起。智能美妆系统相关的研究也日渐增多, 研究方

向以虚拟试妆为主。研究者利用人脸识别、面部特征点跟踪等算法, 对虚拟试妆交互技术进行优化和探索, 但在智能美妆领域的交互行为设计、流程优化、交互界面设计和优化相关的研究还不是很完善。在设计方面, 市面上的一些产品应用案例可以提供参考: HiMirror 智能美妆镜、日本资生堂门店肤质检测镜等产品的应用得到了良好的用户和社会媒体反馈, 基于智能手机设计的虚拟试妆应用程序(App)产品的技术也已经较为完善, 但在有限的显示屏幕和手机内置摄像头性能不足的前提下, 用户体验仍有待提高。

收稿日期: 2021-11-27; 修回日期: 2022-07-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(62172252)

作者简介: 孙喆, 硕士研究生, 研究方向为智能美妆、计算机视觉、智能硬件, 电子信箱: sunz15@tsinghua.org.cn; 徐迎庆(通信作者), 教授, 研究方向为人机交互、计算机图形学、文化遗产数字化等, 电子信箱: yqxu@tsinghua.edu.cn

引用格式: 孙喆, 席雪宁, 徐迎庆. 未来人居中的智能美妆: 数字化妆镜交互技术及其应用[J]. 科技导报, 2023, 41(8): 53-64; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.08.005

数字化妆镜是能以屏幕、投影、语音提示等信息显示方式为媒介,扩展用户化妆过程中普通镜面提供的信息的复杂系统。作为智能美妆话题下的子方向,这一领域涵盖诸多分支,涉猎硬件开发、计算机视觉、三维重建、妆容生成等多类技术。本文从镜面人机交互研究、智能美妆算法、数字化妆镜相关交互技术3个方面,综述近年来国内外有关数字化妆镜的研究,探讨未来智能美妆的应用场景。

1 基于镜面的人机交互研究

1.1 镜面交互

镜面交互研究(smart mirror or interactive mirror)围绕如何改进传统镜面的用户使用体验这一话题展开。健身是镜面交互研究的主流应用场景之一。围绕居家健身场景,德国乌尔姆大学的Besserer等^[1]提出FitMirror,一种智能镜面交互方案,每日早晨以互动游戏的形式鼓励用户进行简单的健身运动。实验结果表明,这种在日常行为流程中插入交互设计的方式能够有效地改变用户的生活习惯。在智能健身房中,镜面交互的相关研究则主要关注于如何向用户提供数字化的、定制化的健身教学服务,包括奖惩激励反馈、健身信息记录、动作姿态矫正等,优化用户体验^[2]。Mohamed等^[3]基于树莓派开发了智能镜子交互系统,利用人脸识别、自然语言处理等技术实现信息的输入与输出。另一类常见的应用场景则是动作学习,如舞蹈、指挥等。Salgin等^[4]提出了一套基于镜面交互的音乐指挥练习指导系统,该系统强调及时反馈与练习的重要性,提供节奏模型、分类对照和及时反馈,辅助用户进行指挥练习。第三类常见的应用场景则关注使用者的情感需求。德国奥格斯堡大学的Dang等^[5]提出一种智能的情感镜子(affective mirror),为用户提供自我提升的指导、记录用户使用前后的情况,并提供对照,帮助用户自我欣赏、提升幸福感。用户在使用过程中通过自我识别、自我认知、自我意识产生了积极的美学体验。

1.2 公共场所中的屏幕交互

公共场所的屏幕交互设计依赖于应用场景的

需求。珠宝零售场景中注重买卖双方的互动体验。Chu等^[6]提出了一种台面镜像显示系统,为用户提供多角度数字化产品试戴,并记录试戴效果,方便用户反复对比观察,从而优化买卖双方的互动体验,辅助双方建立更好的买卖关系。在线购物场景中,Parlangeli等^[7]认为用户需要灵活的导航与定制化的推荐。该团队提出一种交互系统,可以辅助购物意图的形成,从而促进购物行为的发生,由此提升用户满意度。除不同应用场景的个性化需求外,研究者也关注公共场所屏幕交互的通用性设计范式。Kim等^[8]研究了透明屏幕(transparent screen)中信息显示与透明度间的关系,指出25%的透明度适合在近处的屏幕;而远处的屏幕则更适合50%的透明度。Weißker等^[9]则提出了一种交互框架massive mobile multiuser(M³),它以个人移动设备作为用户与公共场所中屏幕进行交互的终端,依托网页进行信息传递,免去用户安装第三方APP的烦恼。Newn等^[10]探索了眼动追踪(eye tracking)技术在交互式桌面(interactive tabletops)的技术边界,发现凝视交互(gaze interaction)在靠近用户时效果不佳(由于眼睑遮挡了视线),但在距离用户约一臂的位置时可以实现准确的眼动追踪。

1.3 交互方式与交互接口

在基于镜面的人机交互设计研究中,存在传统触摸交互、空中手势交互、平面手势交互、非触摸交互、目光凝视交互、设备互联交互等多种交互方式,联结物理空间与数字空间,许多研究者以用户作为交互中心,由此设计出多种交互模式与流程^[11-15]。Loorak等^[16]提出HOF(hand-over-face)交互方式,服务于自拍体验。研究主张用HOF代替自拍场景下的屏幕触摸交互,认为触摸不够自然,将影响用户的自拍体验。该研究设计了通用的后端框架,将人脸作为触摸面板,食指在面部进行捏和、缩放等动作触发虚拟贴纸的更换和附着。研究者基于智能手机的内置摄像头识别指尖交互,并通过交互任务设计完成了实验,结合可用性七要素、用户体验、多用户行为观察实验进行评估,得到正向反馈,在特定的交互场景下,HOF交互方式的具有较高的合理性,大大缩短了更换贴纸等操作的时间成本,减

少无意义的重复动作。在手表与手机的互动研究中, Kubo 等^[14]探索了基于不同场景的跨设备交互需要, 加入系统对上下文的感知, 结合姿势识别, 分析手部、手臂的动作特征和参数, 并测试用户在完成例如查找地图、播放音乐、进行视频聊天等不同任务甚至多任务流程时, 跨设备交互所能产生的作用与反馈的差异, 以及用户使用流程和习惯的不同。

1.4 交互方式中的手势交互

在针对手势交互的创新研究中, Mistry 等^[17]通过红外感知将手势交互作为鼠标进行输入, 主要利用手指在桌面上的动作实现信息输入。在客厅远距离屏幕交互手势创新的研究中, Lee 等^[18]使用户成为手势的创建者, 高度参与实验, 并通过多组用户的长时间行为视频记录、疲劳度考量, 最终引导用户创造最自然舒适的交互手势, 分析手部使用习惯, 提供了自由探索可能性的参与式设计方法思路。Bohari 等^[19]在无工具场景下利用半空手势进行绘图, 通过记录用户手部的信息参数(悬停时间、速度、空间轨迹等), 设计手势唤醒的临界点并测试用户体验结果。也有研究者探索了基于皮肤的交互方式, 用户的一只手作为参考信息, 另一只手作为动作发生接口, 使用多用户参与的实验方式, 创建自然交互手势^[19-20]。

2 智能美妆算法

智能美妆涉及到多种计算机视觉、计算机图形学算法。首先, 数字化妆镜系统需要通过视觉传感器感知用户所在位姿, 并通过摄像头等采集用户的面部信息; 而后, 系统将对所得到的、含有用户面部区域的图像信息进行处理, 通过面部特征点识别与追踪技术, 定位用户面部区域在画面中的位置, 并标定若干特征点。以这些特征点为基准, 智能数字化妆镜才能实现后续的妆容预览、虚拟上妆、上妆流程辅助等步骤。智能数字化妆镜可以综合用户的五官结构与特定需求, 自动为用户定制妆容; 也可以进一步拆解妆容, 分区域、分步骤地将呈现妆容呈现给用户, 而非端到端地生成。这其中涉及到多种计算机视觉、计算机图形学相关的算法, 可大

致划分为3个方面:(1) 面部特征点识别与追踪技术, 可用于提取用户的五官特征、在交互过程中定位用户的五官位置、呈现所生成的妆容的效果或放置上妆步骤提示;(2) 妆效生成, 将妆容效果显示在面部对应的区域, 向用户提供妆效预览;(3) 妆效推荐, 根据用户的面部结构、使用场景等, 生成合适的妆容。

2.1 面部特征点识别与追踪

在过去的25年间, 大量研究工作围绕面部特征点识别与跟踪展开, 一些公司甚至推出了面部特征点跟踪的开发工具与软件开发工具包(SDK), 如旷视、商汤、Banuba 等, 该领域技术基础良好^[21-23]。Tan^[24]在2017年的工作中, 提出了一种鲁棒稀疏重建方法, 引入了“形状增量重建”的概念, 而非在特征空间和形状空间之间直接进行回归。此外, 他们以回归的方式构建了一组形状增量字典和局部外观字典的耦合过完备字典, 以选择鲁棒特征和拟合形状增量。在LFPW-68、LFPW-29、COFW 3个公共数据集上的实验结果表明, 该方法比最先进的方法具有更好的鲁棒性。Wu 等^[25]在2018年提出的面部特征点识别算法, 不仅可以识别面部特征点, 还可以预测出面部边缘热力图, 在300-W数据集上达到3.92%的平均错误率。Zhang 等^[26]在2020年提出的神经网络框架在300-W上达到3.48%的平均错误率。

2.2 妆效生成

目前, 学术界对于妆效生成的研究思路大体可分为2种: 基于例子的妆效生成与基于纹理材质的妆效生成。近10年来, 深度学习为计算机视觉领域带来了飞跃性的进展, 也同样为智能美妆带来了新的思路。基于例子的妆效生成又称妆效迁移(makeup transfer), 指基于单张参考图像, 在输入图像的面部区域生成妆效, 其妆效应尽量与参考图像相似。这一问题中最常用的方法当属生成对抗网络(generative adversarial networks, GAN)。Chang 等^[27]在2018年提出了PairedCycleGAN进行妆效迁移。Chang 使用无监督的方式, 训练了正向、逆向两个对称的神经网络, 一个用于生成妆效, 另一个则用于“卸妆”, 即根据一张上妆的输入图像, 生成

一张消去妆容的图像。在生成效果的真实性和真实性方面优于同年其他算法。Bao 研究团队^[28]基于生成对抗网络开发了一种妆容迁移算法,可以根据不同的参考图像,生成不同风格妆容。Li 等^[29]提出了一种分离的特征学习策略,经他们改进后的 GAN 网络在妆效迁移方面,部分细节效果超越了 BeautyGAN^[30],如图 1 所示。该网络也可以实现数字化自动“卸妆”。

基于纹理材质的妆效生成则是通过算法模拟化妆品的上妆效果,在输入图像对应区域进行一系列的纹理、色彩变换操作,生成妆效。如 Park 等^[31]在 2018 年提出了一种可以根据用户的个人颜色,



图 1 Li 等推出的算法效果图

包括肤色、发色、瞳孔颜色,自动地生成妆容的算法。Park 构造了一个“美妆颜色数据库”,按冷暖、季节对颜色进行了归类(图 2)。尽管这一工作生成的妆容真实感不佳,其根据个人颜色生成妆效的思路却具有一定的启发性。

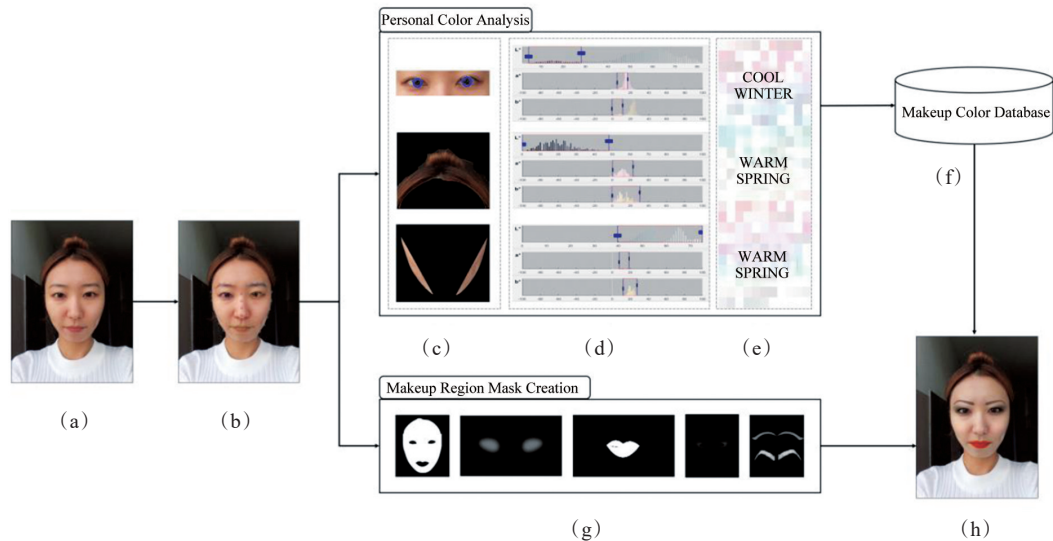


图 2 Park 等提出的妆效生成算法流程图

Evangelista 等^[32]提出了一种真实感增强现实(AR)妆效生成算法,可以准确地模拟 5 种质感:哑光、丝绒、镜面、细闪和金属光泽,且可以应用于不

同肤色,具体效果如图 3 所示。该算法具有匹配性好、时延低的特性,可以应用于实时视频流的渲染,且在不同光照环境下都有不错的表现。



图 3 Instagram 不同肤色、不同质感的妆容生成效果

2.3 妆效推荐

妆效推荐算法应根据用户的个人特征,自动地为用户推荐适合的妆容。早期的妆效推荐算法多采用基于模板的方式,即从预先准备的妆容数据库中,根据所提取到的用户特征,选取合适的妆容,其本质为优化算法。例如新加坡国立大学的Liu等^[33]在2014年提出的Beauty e-Experts,即一个可以自动推荐妆容,并以图片的方式展示妆容仿真效果的系统。用户输入单张图像即可使用该系统,但要求该图像中用户展示正脸、不化妆或化淡妆、将头发扎起或留短发。Beauty e-Experts智能性重要来源为它对应的数据库。数据库中含有1505张经过标

注后的女性照片,每张照片中含有2类标注:美妆属性与美妆关联属性,其中美妆属性在实际使用中,将由Beauty e-Experts系统生成,可修改;而美妆关联属性则用于辅助生成美妆属性,不可修改。系统根据美妆关联属性与图像特征,构建多个搜索树,搜索得到最适美妆属性,算法流程如图4所示。该工作较为完整地实现了妆容推荐的功能,其分区域生成妆效的特点非常适合对接“智能美妆系统按步骤辅助用户上妆”的交互设计方案,亦很适合作为基线算法进行比对。然而,该工作在前期需要进行大量的标注与分析工作,且生成的效果图仍存在一定的不真实感。

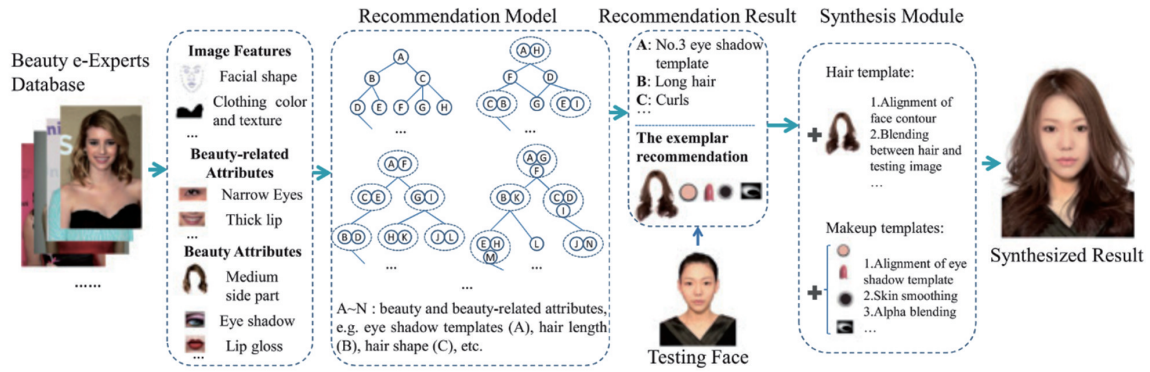


图4 Beauty e-Experts算法流程

中国科学院Ou等^[34]提出的Beauty eMakeup算法融合了妆容迁移算法的思路,在输入图像的基础上,端到端地生成上妆后的效果图。与前述3个工作思路类似,Ou等建立了一个数据库作为妆效模板。不同的是,其在选择推荐妆效时,比对了输入

图像与数据库中图像的面部特征,从数据库选择面部特征最相似的图片,将图中的妆容转移到输入图像上,得到妆效预览,部分效果如图5所示。该方式相比于Liu等^[33]和Nguyen等^[35]的工作(分别如图4、图6所示),极大地减轻了数据集制作的工作量。

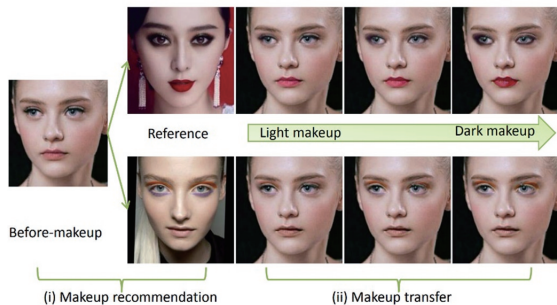


图5 Beauty eMakeup算法效果

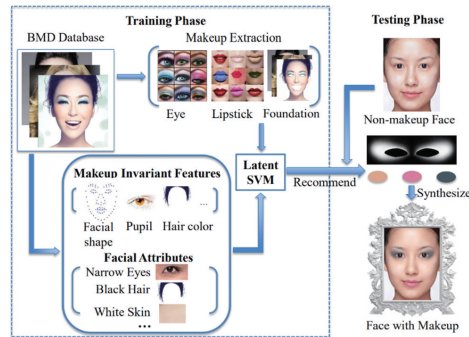


图6 Smart Mirror系统流程

3 数字化妆镜相关交互技术

数字化妆镜系统涉及到多模态融合硬件采集、反馈方案,涵盖多种不同设备与传感器。其中,显示设备是整个系统中的重要模块,它最直接地影响到用户的使用体验。此外,为了采集用户在美妆过程中的复杂模态的信息,数字化妆镜系统中需要加装多类别的传感器,采集诸如视觉、深度红外、嗅觉、生理、美妆工具编码、工具位姿等信息,从而推断出用户的行为及意图,并依此给予适当的反馈。以下将从数字化妆镜主体硬件、相关传感器、智能美妆系统3个方面总结相关研究。

3.1 数字化妆镜主体硬件

为提供更好的美妆体验,在数字化妆镜系统中,虚、实信息的融合尤为重要。显示设备将极大地影响使用者的使用体验。融合虚实信息是典型的增强现实问题,显示方式可分为:(1)基于合并器分光镜显示;(2)基于不透光屏幕显示;(3)其他显示方式。

其中,基于合并器分光镜的显示器,又称S-HMD^[36],为Hololens、Oculus等虚拟现实(VR)眼镜中常用的显示设备,在显示虚拟物体的同时,可以允许真实世界的光线透过。然而此类显示方案会对用户面部产生大面积的遮挡,不适用于化妆场景。不透光屏幕可粗分为2大类:(1)普通LED、LCD、OLED类屏幕,即手机、平板电脑、显示器中常见的屏幕,具有成本低、用户基础好等优势;(2)镜面显示屏,其屏幕既可以反射周围环境光线,类似镜子,又可以显示图像,如图7所示。除上述2种常



图7 镜面显示屏示例

见的方式外,研究者也在探索其他的虚实信息融合展示方案。迪士尼团队^[37]于2017年提出了一种新型显示技术,Treepong等^[38]在2018年加以应用。该技术通过投影仪与红外摄像头定位用户面部位置,将妆效投影至用户面部,再提供一面真实的镜子供用户观看。

综合比较上述3种方式,镜面显示屏易受周围环境的影响,环境光过亮则不易看清屏幕显示内容,且其所显示的图案仅浮于镜面表面,与镜中用户的虚像存在深度差距,渲染得到的虚拟妆效将会出现较大的失真;而摄像头、红外摄像头与镜子配合的显示方式同样存在对环境光敏感的问题,且投影的光亮直射用户面部,其用户体验质量将会下降,而投影对于纹理的模拟能力远弱于显示器。因此在数字化妆应用场景下,选用高清摄像头配合高清显示器作为AR显示媒介是当前的较优解。

3.2 相关传感器

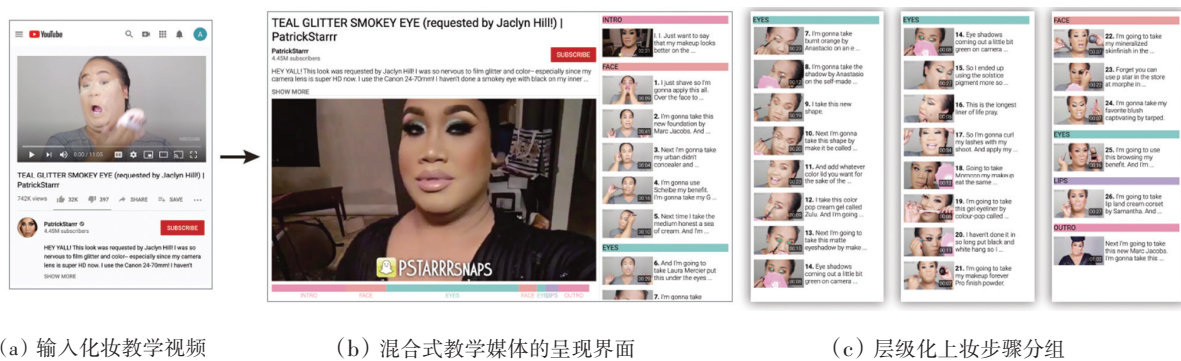
传统美妆环境中通常存在一个基本问题:对于光线的变化较为敏感。一方面,用户的妆容在不同光线下差别会很大,光线不充足时,面部的瑕疵与不足容易被掩盖,往往容易出现上妆过浓、颜色不合适、遮瑕不彻底等问题;另一方面,智能美妆系统中的一个基础技术——面部特征点捕捉,对于光线的要求也很高,在过暗或光线变化剧烈的场景下,往往无法达到很好的捕捉效果。因此,数字化妆镜系统需要考虑的基本问题之一便是光照问题。系统可以通过软硬件结合的手法实现自适应的光照调节,保证用户面部的光照充足,从而给用户提供更好的上妆体验。此外,为了能够实现数字化妆镜系统的诸多功能,如获取用户的预期妆容、捕捉跟踪用户当前的行为、预测用户下一步动作并提供引导等,该系统需要部署复杂的、多模态的传感器阵列,例如,架设多视角的多类型相机阵列以获取视觉信息流;在美妆工具内加装惯性测量单元(inertial measurement unit, IMU)、射频识别(radio-frequency identification, RFID)等传感器以获取工具位姿等。数字化妆镜将上述传感器所采集到的信息作为输入数据,通过特征提取、分析,生成合适的妆容,并为用户提供妆容的效果的预览。

3.3 智能美妆系统

目前,学术界对于智能美妆系统的探索并不多,整个领域仍然有很多的可能性未被开发,已有研究大多在2个方面落脚。其一,搭建化妆平台,包含一系列仿真道具,平台可以提供妆效的预览,以及交互式的虚拟化妆。Treepong等^[38]提出了这样一个平台,提供了仿真口红、眉笔以及腮红刷,作为该平台的拓展,用户可以使用这3个工具为虚拟环境中的角色化妆,也可以看到虚拟妆效在自己面部的效果。其二,搭建美妆分享平台。Nakagawa

等^[39]搭建了美妆分享平台,以及配套的镜子、RFID标签盒、条码盒和智能系统,用户可以使用这套系统化妆,并将完成后的妆容照片、所使用的化妆品、上妆工具等发布在网页端进行分享。

斯坦福大学的Truong团队提出了一种多模式分析算法,可以从教学化妆视频中自动生成分层教程,如图8所示^[40]。给定输入的教学化妆视频后,他们使用了一组启发式算法,将计算机视觉技术与转录文本分析相结合,以自动识别动作步骤,并按面部区域对这些步骤进行分组,以形成粗粒度事件。



(a) 输入化妆教学视频

(b) 混合式教学媒体的呈现界面

(c) 层级化上妆步骤分组

图8 自动分层教程拆分

Hung等^[41]搭建了虚拟试妆系统。面部组件的规范模式存储于离线的数据库中。用户在线输入面部图像后,系统自动提取面部特征点、计算人脸成分的代表特征并在数据库中搜索,找到最佳匹配妆容。然后,系统将根据用户的选择为面部图像中对应位置生成妆容预览结果(图9)。然而,这一系统的侧重点在于“试妆”,即妆容的仿真,而非用户真实进行化妆。一个交互式上妆教程的系统目前仍少有研究者涉足,有着较大的研究潜力。

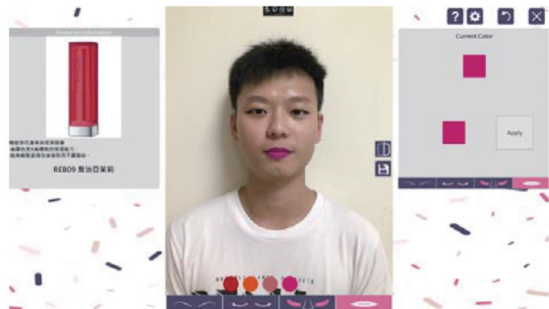


图9 虚拟试妆系统界面

4 清华大学未来实验室在数字化妆领域的工作

清华大学未来实验室数字化妆团队(下称“团队”)研究方向之一便是如何通过智能化技术与设计方法提升化妆过程中的用户体验。团队正在构建的美妆自然交互系统坚持以体验设计为中心,从用户在美妆场景中的各环节需求出发以构建整体的设计方案与技术架构,涉及显示设备与实体工具设备之前的跨设备交互。这一美妆交互系统包括多任务流程:整体妆容的呈现作为主流程,而粉底、眼影、眼线、睫毛、口红、眉毛等局部上妆过程作为子流程。每一个子流程,团队结合用户动作习惯、用户与屏幕之间的距离关系、手势动作的舒适度与疲劳度、目光聚焦位置等,设计工具更换提示、操作错误反馈等实时交互方式。

在智能美妆交互方式和技术探索的多篇文章中都提到,虚拟试妆可帮助用户找到适合自己的妆

容^[35,38-39,42-43]。大量互联网用户通过观看社交媒体上的化妆教程来学习化妆。团队分析了 YouTube、bilibili 等视频平台美容板块上最受欢迎、浏览量最大的视频,从中提取出用户学习时的痛点:由于个人面部特征不同,美容博主使用的技术和产品、工具可能并不适合学习者;平台上的教程以视频形式为主,用户并未得到积极的互动体验,化妆效果也难以得到保证。团队所设计的美妆交互系统希望为用户提供一种循序渐进的实时互动教学,推荐适合其面部特征的化妆轨迹和化妆区域,以提升学习体验。

数字化妆镜系统采用基于大屏幕、摄像头、智能设备的输入交互方式,设计过程中考虑多种问题。首先,摄像头中的人脸图像与真实镜子中虚像的不同,存在镜头畸变、视点偏移、光线不足等失真。其次,在用户界面和产品设计中^[44-46],需要考虑已有设计规范和设计趋势。许多数字产品交互设计在反思时共同认为,智能设备应该深入生活,通过持续的行为转化,影响人的真实生活,而不是为用户增加认知负荷、不应该只注重功能的附加和堆叠,活在虚拟数字世界中^[47-50]。成熟的设计系统在满足可用性原则、优质体验的同时,注重用户群体的不同需求,细分场景,将设计语义可视化;注重系统的关联性与系统内部的触发、信息、反馈、循环的易用性和审美性。将透明度参数变化运用于界面设计是界面互动美学设计的经典方法,在设计实践领域这一要素的运用已十分成熟。另一方面,适配自适应界面的动态按钮、菜单、窗口等要素的运用也有很大的发展空间。

整个系统基于摄像头为用户提供实时反馈,并提供可操作用户界面,相较于传统化妆场景中用户使用镜子来进行面部及妆容的查看,数字化的显示方式有很多现存缺陷,例如摄像头成像存在较严重的镜头畸变使得成像与真实镜面反射成像不符,因而该系统需要对摄像头参数及成像素质进行优化以实现流畅完整的系统体验。摄像头素质优化包括对其感光度、焦距、畸变矫正和视点矫正、景深控制等内容的调节,目的是实现面部信息的真实呈现。感光度影响着成像色彩参数是否符合真实空

间光线条件下的人脸及面部色调,进而影响面部色调与美妆产品颜色的贴合程度,焦距的选择和调节能够保证成像接近人眼视角从而贴近镜面反射的效果,畸变和视点矫正可在人像移动或偏移时也为用户提供尽可能接近人眼效果的面部形状从而减少普通镜头捕捉人像时的失真感,景深控制实现接近人眼的面部对焦效果,弱化背景对面部信息的影响(图 10)。

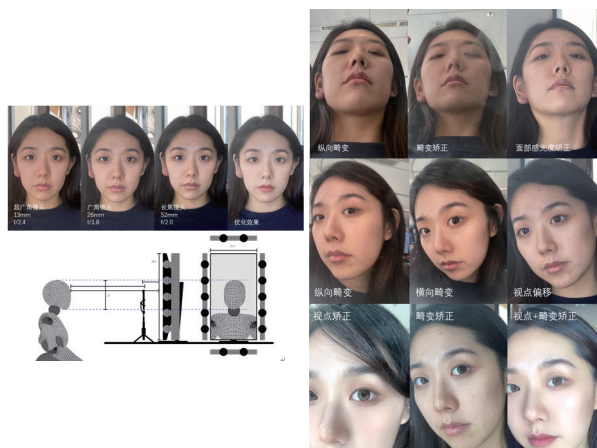


图 10 摄像头参数及素质调整效果

基于显示信息的优化处理,系统经过面部三维重建的过程以为用户提供更细致的面部纹理预览效果,结合美妆产品的材质多样化,用户的面部护理、产品选择过程都伴随这极强的个性化偏好,不同用户的肤质差异可能会决定用户选择同类产品(图 11)。为用户提供真实的产品试用效果,从而为用户提供真实流畅的内容体验,这就要求美妆系统能够基于已有的面部信息分析得出更细致的面部材质纹理信息,基于对于面部区域结构的划分,为用户提供可能会出现皮肤问题的区域及情况,如“眼下皮肤较干,在使用某产品时容易出现起皮的情况,为用户提供有效预判从而为用户提供有效的保湿眼霜和滋润型还有养肤成分的粉底液”。有效试妆后的上妆过程配合实时反馈界面,为用户提供包括步骤、区域、产品、工具、手法在内的详细上妆拆解过程,上妆过程中的体系化信息架构经过系统设计语言的规范化、一体化处理为用户提供一致、流畅的体验。

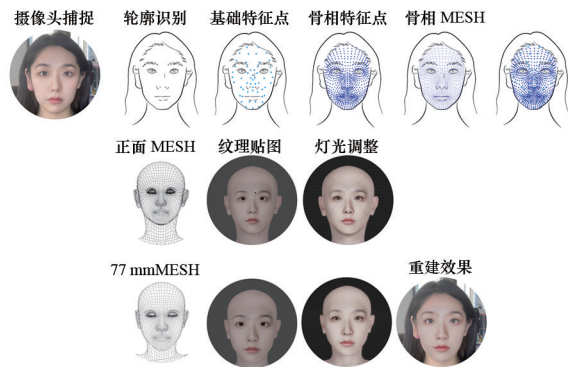


图 11 三维重建材质贴图效果

5 结论

从镜面人机交互设计、智能美妆算法、数字美妆系统相关交互技术3个方面,对数字化妆镜系统相关的研究进行了调研与综述,梳理了数字化妆镜系统所涵盖的设计研究与技术基础发展情况。在对数字化妆镜研究的背景、意义、市场进行分析后,总结了数字美妆系统的设计思路。首先,需要注重系统本身的美学互动性,从产品外观、产品交互界面及交互系统的设计优化中完善用户的整体体验。这一美妆系统可以基于成熟的妆效显示技术,为用户提供高质量真实感的妆效预览,重点设计将聚焦在用户进行整体化妆过程中、在虚拟场景与现实场景结合的混合交互场景中、在用户使用化妆指导功能时。设计设备与系统的运作流程时,建议采用参与式设计的方法,充分进行用户行为观察及实验,并且鼓励用户提出自己认为最自然的身体姿态、面部姿态、动作、手势、目光关注点等设计方案,根据用户的行为创建交互流程及方式、设计用户界面。在不断进行数据统计评估的过程中建立较为完善的交互机制和软硬件结合的智能产品,以用户数据、互动美学和用户体验设计为衡量标准,不断优化产品原型。此外,结合未来实验室团队的研究结果,围绕智能美妆话题提出了设计建议。

参考文献(References)

[1] Besserer D, Bäurle J, Nikic A, et al. Fitmirror: A smart

mirror for positive affect in everyday user morning routines[C]//Proceedings of the Workshop on Multimodal Analyses Enabling Artificial Agents in Human-Machine Interaction. New York: Association for Computing Machinery, 2016: 48-55.

[2] Hippocrate A A E, Luhanga E T, Masashi T, et al. Smart gyms need smart mirrors: Design of a smart gym concept through contextual inquiry[C]//Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers. New York: Association for Computing Machinery, 2017: 658-661.

[3] Mohamed A S A, Wahab M N A, Suhaily S S, et al. Smart mirror design powered by raspberry PI[C]//Proceedings of the 2018 Artificial Intelligence and Cloud Computing Conference. New York: Association for Computing Machinery, 2018: 166-173.

[4] Salgian A, Vickerman D, Vassallo D. A smart mirror for music conducting exercises[C]//Proceedings of the on Thematic Workshops of ACM Multimedia 2017. New York: Association for Computing Machinery, 2017: 544-549.

[5] Dang C T, Aslan I, Lingenfelter F, et al. Towards somaesthetic smarthome designs: Exploring potentials and limitations of an affective mirror[C]//Proceedings of the 9th International Conference on the Internet of Things. New York: Association for Computing Machinery, 2019: 1-8.

[6] Chu M, Dalal B, Walendowski A, et al. Countertop responsive mirror: Supporting physical retail shopping for sellers, buyers and companions[C]//Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2010: 2533-2542.

[7] Parlangeli O, Guidi S, Marchigiani E, et al. Shopping online and online design: The role of prospective memory in the use of online product configurators[C]//Proceedings of the 13th Biannual Conference of the Italian SIGCHI Chapter: Designing the Next Interaction. New York: Association for Computing Machinery, 2019: 1-7.

[8] Kim H, Huh B K, Im S H, et al. Finding satisfactory transparency: An empirical study on public transparent displays in a shop context[C]//Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2015: 1151-1156.

[9] Weißker T, Berst A, Hartmann J, et al. The massive mo-

- mobile multiuser framework: Enabling ad-hoc realtime interaction on public displays with mobile devices[C]//Proceedings of the 5th ACM International Symposium on Pervasive Displays. New York: Association for Computing Machinery, 2016: 168-174.
- [10] Newn J, Velloso E, Carter M, et al. Multimodal segmentation on a large interactive tabletop: Extending interaction on horizontal surfaces with gaze[C]//Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces. New York: Association for Computing Machinery, 2016: 251-260.
- [11] Hansen T R, Eriksson E, Lykke-Olesen A. Mixed interaction space: Designing for camera based interaction with mobile devices[C]//CHI'05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2005: 1933-1936.
- [12] Bohari U, Chen T J. To draw or not to draw: Recognizing stroke-hover intent in non-instrumented gesture-free mid-air sketching[C]//23rd International Conference on Intelligent User Interfaces. New York: Association for Computing Machinery, 2018: 177-188.
- [13] Ishak E W, Feiner S K. Interacting with hidden content using content-aware free-space transparency[C]//Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. New York: Association for Computing Machinery, 2004: 189-192.
- [14] Kubo Y, Takada R, Shizuki B, et al. Exploring context-aware user interfaces for smartphone-smartwatch cross-device interaction[J]. Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, 2017, 1(3): 69:1-69.
- [15] Chen X, Marquardt N, Tang A, et al. Extending a mobile device's interaction space through body-centric interaction[C]//Proceedings of the 14th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services. New York: Association for Computing Machinery, 2012: 151-160.
- [16] Looarak M H, Zhou W, Trinh H, et al. Hand-over-face input sensing for interaction with smartphones through the built-in camera[C]//Proceedings of the 21st International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services. New York: Association for Computing Machinery, 2019: 1-12.
- [17] Mistry P, Maes P. Mouseless: A computer mouse as small as invisible[C]//CHI'11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2011: 1099-1104.
- [18] Lee S S, Chae J, Kim H, et al. Towards more natural digital content manipulation via user freehand gestural interaction in a living room[C]//Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing. New York: Association for Computing Machinery, 2013: 617-626.
- [19] Yeo H S, Feng W, Huang M X. WATouCH: Enabling direct input on non-touchscreen using smartwatch's photoplethysmogram and IMU sensor fusion[C]//Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2020: 1-10.
- [20] Bostan I, Buruk O T, Canat M, et al. Hands as a controller: User preferences for hand specific on-skin gestures[C]//Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2017: 1123-1134.
- [21] Sharma R, Patterh M. Face recognition using face alignment and PCA techniques: A literature survey[J]. IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE), 2015, 17(4): 17-30.
- [22] Jin X, Tan X. Face alignment in-the-wild: A survey[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2017, 162: 1-22.
- [23] Wang N, Gao X, Tao D, et al. Facial feature point detection: A comprehensive survey[J]. Neurocomputing, 2018, 275: 50-65.
- [24] Tan S, Chen D, Guo C, et al. A robust shape reconstruction method for facial feature point detection[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2017, 2017: 1-11.
- [25] Wu W, Qian C, Yang S, et al. Look at boundary: A boundary-aware face alignment algorithm[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York: Association for Computing Machinery, 2018: 2129-2138.
- [26] Zhang J, Hu H, Shen G. Joint stacked hourglass network and salient region attention refinement for robust face alignment[J]. ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications, 2020, 16(1): 1-18.
- [27] Chang H, Lu J, Yu F, et al. Pairedcyclegan: Asymmetric style transfer for applying and removing makeup[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York: Association for

- Computing Machinery, 2018: 40–48.
- [28] Bao R, Yu H, Liu S, et al. Automatic makeup based on generative adversarial nets[C]//Proceedings of the 10th International Conference on Internet Multimedia Computing and Service. New York: Association for Computing Machinery, 2018: 1–5.
- [29] Li Y, Huang H, Cao J, et al. Disentangled representation learning of makeup portraits in the wild[J]. International Journal of Computer Vision, 2020, 128(8–9): 2166–2184.
- [30] Li T, Qian R, Dong C, et al. BeautyGAN: Instance-level facial makeup transfer with deep generative adversarial network[C]//Proceedings of the 26th ACM International Conference on Multimedia. New York: Association for Computing Machinery, 2018: 645–653.
- [31] Park J, Kim H, Ji S, et al. An automatic virtual makeup scheme based on personal color analysis[C]//Proceedings of the 12th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication. New York: Association for Computing Machinery, 2018: 1–7.
- [32] Evangelista B, Meshkin H, Kim H, et al. Realistic AR makeup over diverse skin tones on mobile[C]//Siggraph Asia 2018 Posters. New York: Association for Computing Machinery, 2018: 1–2.
- [33] Liu L, Xing J, Liu S, et al. Wow! You are so beautiful today[J]. ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications, 2014, 11(s1): 1–20.
- [34] Ou X, Liu S, Cao X, et al. Beauty eMakeup: A deep makeup transfer system[C]//Proceedings of the 24th ACM International Conference on Multimedia. New York: Association for Computing Machinery, 2016: 701–702.
- [35] Nguyen T V, Liu L. Smart mirror: Intelligent makeup recommendation and synthesis[C]//Proceedings of the 25th ACM International Conference on Multimedia. New York: Association for Computing Machinery, 2017: 1253–1254.
- [36] 朱淼良, 姚远, 蒋云良. 增强现实综述[J]. 中国图象图形学报, 2004(7): 3–10.
- [37] Bermano A H, Billeter M, Iwai D, et al. Makeup Lamps: Live augmentation of human faces via projection[J]. Computer Graphics Forum, 2017, 36(2): 311–323.
- [38] Treepong B, Mitake H, Hasegawa S. Makeup creativity enhancement with an augmented reality face makeup system[J]. Computers in Entertainment, 2018, 16(4): 6–17.
- [39] Nakagawa M, Tsukada K, Siio I. Smart makeup system: Supporting makeup using lifelog sharing[C]//Proceedings of the 13th International Conference on Ubiquitous Computing. New York: Association for Computing Machinery, 2011: 483–484.
- [40] Truong A, Chi P, Salesin D, et al. Automatic generation of two-level hierarchical tutorials from instructional makeup videos[C]//Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Yokohama: ACM, 2021: 1–16.
- [41] Hung M H, Yang J, Hsieh C H. A new virtual makeup system based on golden sample search[C]//Proceedings of the 2020 4th International Conference on Electronic Information Technology and Computer Engineering. Xiamen: ACM, 2020: 350–354.
- [42] Rahman A S M M, Tran T T, Hossain S A, et al. Augmented rendering of makeup features in a smart interactive mirror system for decision support in cosmetic products selection[C]//2010 IEEE/ACM 14th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications. New York: IEEE, 2010: 203–206.
- [43] Nishimura A, Siio I. IMake: Eye makeup design generator[C]//Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology. New York: Association for Computing Machinery, 2014: 1–6.
- [44] Beaudouin-Lafon M. Designing interaction, not interfaces [C]//Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces. New York: Association for Computing Machinery, 2004: 15–22.
- [45] Edelman J, Kilrain J. Design systems: Consistency, efficiency & collaboration in creating digital products[C]//Proceedings of the 38th ACM International Conference on Design of Communication. New York: Association for Computing Machinery, 2020: 1–3.
- [46] Johnston V, Black M, Wallace J, et al. A framework for the development of a dynamic adaptive intelligent user interface to enhance the user experience[C]//Proceedings of the 31st European Conference on Cognitive Ergonomics. New York: Association for Computing Machinery, 2019: 32–35.
- [47] Jacob R J K, Girouard A, Hirshfield L M, et al. Reality-based interaction: Unifying the new generation of interaction styles[C]//CHI'07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2007: 2465–2470.
- [48] O'hara K, Harper R, Mentis H, et al. On the natural-

- ness of touchless: Putting the “interaction” back into NUI[J]. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 2013, 20(1): 5–25.
- [49] Lenz E, Hassenzahl M, Diefenbach S. How performing an activity makes meaning[C]//Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2019: 1–6.
- [50] Catarci T, Amendola M, Bertacchini F, et al. Digital interaction: Where are we going? [C]//Proceedings of the 2018 International Conference on Advanced Visual Interfaces. New York: Association for Computing Machinery, 2018: 1–5.

Makeup system in smart home: Interactive technology in digital mirror for makeup and its application

SUN Zhe^{1,2}, XI Xuening^{1,2}, XU Yingqing^{1,2*}

1. Academy of Arts & Design, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2. The Future Laboratory, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract Along with the development of technologies such as artificial intelligence(AI) and the internet of things(IoT), here comes the trend of smart home. Makeup industry shows convincing market potential in both consumption and entertainment. Digital makeup has become an interesting research direction. This article focused on makeup system in smart home scenario. The research of related works was divided into three parts: (1) Human-computer interaction design based on mirror; (2) Algorithms related to digital makeup; (3) Hardware technologies in digital mirror for makeup. Based on the survey, application scenarios of the digital makeup mirror system were analyzed and forecasted. This review ought to provide a summary of the development strategy and interface design of digital makeup system for further investigation in this field.

Keywords smart home; natural interaction; digital makeup; experience design ●



(责任编辑 徐丽娇)