

面向人脸特征驱动的近视眼镜镜架个性化设计研究

王泉霖 高晓阳 杨婷婷

三亚学院信息与智能工程学院, 海南 三亚 572022

[摘要] 随着中国近视人群快速增长, 对于个性化近视眼镜镜架的需求也在不断增长。传统的眼镜镜架设计往往忽视了个体差异, 导致适配性不佳, 影响了佩戴的舒适性和视力矫正效果。文中提出了一种基于人脸特征驱动的近视眼镜镜架个性化设计方法, 旨在提高镜架的适配性和舒适度。该方法首先通过 3D 扫描技术获取人脸三维数据, 并利用深度学习提取人脸特征点, 构建三维人脸模型。随后, 利用参数化设计软件构建眼镜镜架模型, 并定义镜架的尺寸、形状等特征参数。通过特征匹配算法, 建立人脸特征与镜架特征之间的映射关系, 并利用支持向量机、回归分析等方法建立映射模型。在此基础上, 通过映射模型根据人脸特征驱动镜架特征进行尺寸及形状特征变形, 实现个性化设计。同时, 利用多目标优化算法进行镜架平衡性设计, 以确保左右镜片的质量差异不会影响佩戴的平衡性。最后, 借助 3D 打印技术实现个性化镜架的快速制造。实验结果表明, 该方法设计的个性化近视眼镜镜架具有更好的适配性和舒适度。与传统的通用镜架相比, 基于人脸特征驱动的个性化设计能够更好地满足个体需求, 提高佩戴体验。此外, 3D 打印技术的应用使得个性化镜架的制造更加高效和便捷。

[关键词] 近视眼镜镜架; 人脸特征; 3D 打印技术; 适配性; 舒适度

DOI: 10.33142/sca.v7i12.14726

中图分类号: TS959.6

文献标识码: A

Research on Personalized Design of Myopia Glasses Frame Driven by Facial Features

WANG Quanlin, GAO Xiaoyang, YANG Tingting

School of Information & Intelligence Engineering, University of Sanya, Sanya, Hainan, 572022, China

Abstract: With the rapid growth of myopia population in China, the demand for personalized myopia eyeglass frames is also constantly increasing. Traditional eyeglass frame designs often overlook individual differences, resulting in poor adaptability and affecting the comfort of wearing and the effectiveness of vision correction. The article proposes a personalized design method for myopia glasses frames based on facial feature driving, aiming to improve the adaptability and comfort of the frames. This method first obtains three-dimensional facial data through 3D scanning technology, and uses deep learning methods to extract facial feature points and construct a three-dimensional facial model. Subsequently, a parametric design software was used to construct a model of the eyeglass frame, and characteristic parameters such as size and shape of the frame were defined. By using feature matching algorithms, establish a mapping relationship between facial features and frame features, and establish a mapping model using methods such as support vector machines and regression analysis. On this basis, personalized design is achieved by using a mapping model to drive frame features for size and shape feature deformation based on facial features. At the same time, multi-objective optimization algorithms are used for the balance design of the frame to ensure that the quality difference between the left and right lenses does not affect the balance of wearing. Finally, utilizing 3D printing technology to achieve rapid manufacturing of personalized mirror frames. The experimental results show that the personalized myopia glasses frame designed by this method has better adaptability and comfort. Compared with traditional universal frames, personalized design based on facial features can better meet individual needs and improve the wearing experience. In addition, the application of 3D printing technology makes the manufacturing of personalized mirror frames more efficient and convenient.

Keywords: myopia glasses frame; facial features; 3D printing technology; adaptability; comfort level

引言

社会发展和生活节奏的加快导致近视问题日益普遍, 尤其在中国, 近视患者数量持续增加。近视眼镜作为解决这一问题的主要工具, 在日常生活中扮演着重要角色。然而, 传统的眼镜设计往往忽视了个体差异, 导致镜架的不适配, 影响了佩戴的舒适度和视力矫正效果。因此, 个性化设计对近视眼镜镜架具有重要意义。

个性化设计在以下几个方面发挥着重要作用: 首先, 通过量身定制, 可以提高镜架与面部的契合度, 增加佩戴

的舒适度。其次, 针对左右眼近视程度的差异进行调整, 优化视力矫正效果。此外, 根据个人喜好和需求, 定制镜架的款式、颜色等, 满足不同人群的个性化需求。另外, 有效预防传统镜架可能导致的长时间不适, 确保视力矫正的有效性和正确性。最后, 促进眼镜行业向更加精细化和定制化的方向发展, 以满足市场不断增长的需求, 提升产品的附加值和竞争力。

人脸特征驱动的近视眼镜镜架个性化设计更是对个性化设计的深化和提升。通过利用人脸特征, 如脸型、眼

睛位置、鼻子形状等，驱动镜框设计，可以进一步增强镜框与面部的契合度，提高佩戴的舒适度和适配性。这种设计方法使得眼镜更加贴合个体需求，从而提高了视力矫正效果，并为用户带来更加个性化的佩戴体验。同时，这种个性化设计也为眼镜行业带来了新的发展机遇，推动了行业向更加精细化和定制化的方向发展。因此，人脸特征驱动的近视眼镜镜架个性化设计具有重要的意义，为近视人群提供了更加贴心和个性化的解决方案。

此外，3D 打印技术在近视眼镜镜架设计中的应用是一种创新而有效的方法。通过 3D 打印技术，可以根据个体的面部特征和个性化需求，快速制造出定制化的眼镜镜架。利用 3D 扫描技术获取个体的面部数据，并通过计算机辅助设计软件将这些数据转换为数字模型。随后，利用 3D 打印机将数字模型转化为实体镜架，可以根据需求选择不同材料进行打印。由于 3D 打印技术的灵活性和精度，设计师可以实现更加复杂和个性化的镜架设计，包括特定的形状、结构和纹理。此外，3D 打印技术还可以快速迭代设计，减少制造周期和成本，为用户提供更快、更便捷的定制化服务。这种技术为近视眼镜镜架设计带来了新的可能性，提高了设计的灵活性和个性化程度，为用户提供了更好的佩戴体验。

1 相关工作与技术

1.1 镜架设计相关技术

近视眼镜镜架设计领域的发展与多种相关技术紧密相连，主要包括 3D 打印技术、计算机辅助设计 (CAD) 技术、3D 扫描技术等。以下是对这些相关工作与技术的概述：

3D 打印技术：3D 打印技术是一种革命性的制造技术，也被称为增材制造 (Additive Manufacturing)。与传统的减材制造方法相比，3D 打印技术通过逐层堆积材料来创建物体，使得设计师可以实现更加复杂和个性化的设计。

计算机辅助设计 (CAD) 技术：计算机辅助设计 (CAD) 技术是一种广泛应用于工程设计领域的技术，它通过计算机软件帮助设计师创建、修改、分析和优化设计。CAD 技术允许设计师通过计算机软件进行数字化建模，将设计想法转化为可视化的三维模型。这使得设计过程更加直观和高效。由于设计是以数字形式存储的，因此可以轻松进行修改和调整。设计师可以根据用户的反馈和需求快速修改设计，并进行优化，以满足用户的要求。

3D 扫描技术：3D 扫描技术可以快速获取人脸等复杂三维物体的精确数据，为人脸特征提取和建模提供了基础数据支持。

深度学习与特征提取技术：深度学习方法，如卷积神经网络 (CNN)，在人脸特征提取方面表现出色，为镜架与人脸特征之间的映射关系建立提供了技术支撑。基于深度学习的特征提取技术能够自动从大量的人脸数据中学习并提取出关键的面部特征点，如眼睛位置、鼻梁高度等。

相较于传统的手工提取特征的方法，深度学习技术能够更准确地捕捉到数据中的隐藏信息。针对于图像，深度学习模型能够学习到具有更高级别抽象的特征表示，这些特征表示能够更好地捕捉数据的内在结构和特征，从而为镜框设计提供更加丰富和有效的信息，深度学习模型具有较强的泛化能力和适应性，能够处理各种不同类型和质量的人脸数据，并从中提取出有用的特征信息。这使得深度学习技术能够适应不同用户的个体特征，实现更加精准和个性化的镜框设计。

特征匹配与映射技术：特征匹配与映射技术是一种在图像处理和计算机视觉领域广泛应用的技术，用于将一个数据集中的特征与另一个数据集中的特征进行匹配和对应。在近视眼镜镜架个性化设计中，特征匹配与映射技术可以用来建立人脸特征与镜框特征之间的对应关系，从而实现镜框的个性化设计。

多目标优化技术：多目标优化技术是一种应用于工程、计算机科学和运筹学等领域的方法，旨在解决同时考虑多个目标函数的优化问题。多目标优化技术能够综合考虑多个设计目标，并在不同目标之间找到合适的平衡点。在眼镜镜架设计中，设计师可以将舒适度、视力矫正效果、镜框的平衡性等作为设计的多个目标，通过多目标优化技术找到最优的设计方案。多目标优化技术旨在寻找 Pareto 最优解，即无法通过改善一个目标而不会损害其他目标的解。这种解决方案被认为是最优的，因为它提供了在不同目标之间权衡的最佳选择。虽然多目标优化问题通常比单目标优化问题更加复杂，但是现代优化算法和计算技术的发展使得多目标优化问题可以得到有效解决。设计师可以利用各种优化算法和工具，如遗传算法、粒子群优化算法等，来求解多目标优化问题。

1.2 人脸特征识别与提取的相关方法

人脸特征识别与提取是计算机视觉领域的重要研究方向，旨在从人脸图像中自动识别和提取出关键的面部特征信息。这些特征信息可以包括面部轮廓、眼睛位置、鼻子形状、嘴巴轮廓等，对于人脸识别、表情识别、人脸姿态估计以及个性化设计等领域都具有重要的应用价值。以下是常见的人脸特征识别与提取的方法基于传统图像处理 and 基于深度学习的方法：

(1) 基于传统图像处理：常采用手工设计的特征 (如 ASM/AAM) 或回归方法 (如级联回归)，通过优化算法定位人脸关键点。

边缘检测：边缘检测是基于图像中像素灰度值的变化来检测物体边界的一种常用技术。在人脸特征识别中，可以利用边缘检测算法来提取出人脸的轮廓信息。常用的边缘检测算法包括 Sobel 算子、Canny 边缘检测等。通过检测人脸的轮廓，可以对人脸的整体形状进行描述和分析。

模板匹配：模板匹配是一种通过在图像中搜索与给定

模板最相似的区域来进行目标检测和定位的方法。在人脸特征识别中，可以将眼睛、鼻子、嘴巴等特征的形状建立为模板，然后在图像中进行模板匹配，以定位和提取出人脸的关键特征点。模板匹配算法包括相关性匹配、归一化互相关等。

形状分析：形状分析是一种用于描述和分析物体形状和结构的方法。在人脸特征识别中，可以利用形状分析技术来对人脸的整体形状进行建模和描述。常用的形状分析方法包括主成分分析（Principal Component Analysis, PCA）、轮廓描述子等。通过形状分析，可以从人脸图像中提取出形状信息，如人脸的宽度、长度、曲率等。

特征描述子：特征描述子是用来描述图像中局部特征的向量或特征集合。在人脸特征识别中，可以利用特征描述子来描述人脸图像中的局部特征，如人脸的纹理、光照、颜色等。常用的特征描述子包括尺度不变特征变换（Scale-Invariant Feature Transform, SIFT）、加速稳健特征（Speeded-Up Robust Features, SURF）等。通过提取和匹配特征描述子，可以实现人脸特征的识别和匹配。

基于特征点检测的方法：在人脸图像中，特征点通常指代人脸的关键位置，如眼睛的中心、鼻尖、嘴巴的两角等。这些特征点的位置和数量可以根据实际需求而定，常见的特征点数目通常在几十到数百个之间。在本文中，仅举例三个常见的特征点检测算法：

Active Shape Model (ASM)：ASM 算法通过学习人脸形状的统计模型，在图像中寻找与模型形状最匹配的位置，从而定位人脸的特征点。

Active Appearance Model (AAM)：AAM 算法不仅考虑了人脸的形状，还考虑了人脸的外观特征，通过在形状和纹理之间进行优化来定位特征点。

Constrained Local Model (CLM)：CLM 算法通过在局部图像区域中建立人脸特征点的形状模型，并结合全局优化策略，实现对面脸特征点的精准定位。

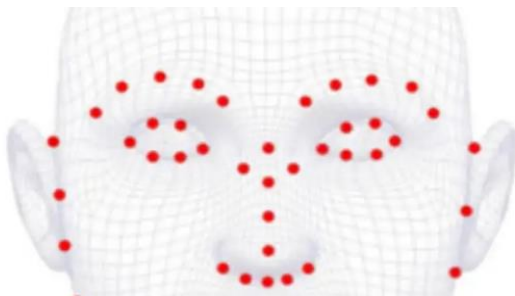


图1 基于特征点检测的方法示意图

在检测到人脸的特征点之后，通常需要对特征点进行匹配和对齐，以确保它们在不同图像中的一致性。这可以通过特征点的相对位置和特征描述子等信息进行实现。一旦完成对齐，就可以将特征点用于后续的任务，如人脸识别、表情识别等。

(2) 基于深度学习的方法：主要通过训练深度神经网络（如卷积神经网络 CNN）自动从人脸图像中提取具有高度区分性和鲁棒性的特征，这些特征随后用于人脸的识别与分类。这些深度学习方法能够有效地处理复杂的人脸图像变化，如光照、表情和姿态等，从而提高了人脸识别的准确性和效率。

卷积神经网络 (CNN)：CNN 是一种专门用于处理图像数据的深度学习模型。它通过堆叠多个卷积层、池化层和全连接层来实现对图像特征的学习和提取。在人脸特征识别中，可以使用预训练的 CNN 模型（如 VGG、ResNet、MobileNet 等）来提取人脸图像中的特征表示。

人脸关键点检测模型：人脸关键点检测模型是一种专门用于定位人脸关键点的深度学习模型。它通常由卷积神经网络和回归模型组成，通过学习从人脸图像到关键点坐标的映射关系来实现关键点的定位。常见的人脸关键点检测模型包括 TCN、MTCNN、HRNet 等。

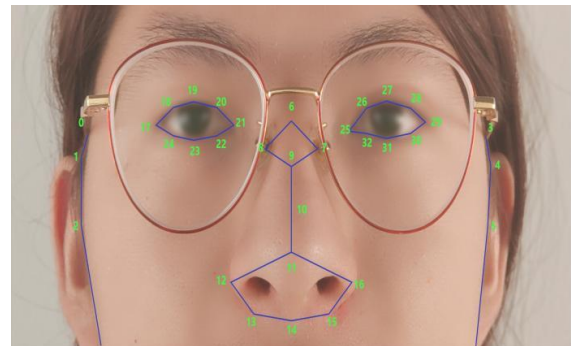


图2 人脸关键点检测模型示意图

数据增强：数据增强是一种在训练深度学习模型时常用的技术，它通过对原始数据进行随机变换和扰动来增加数据的多样性和丰富性。在人脸特征识别中，可以通过随机裁剪、旋转、缩放等操作来增强人脸图像的训练数据，提高模型的泛化能力和鲁棒性。

迁移学习：迁移学习是一种利用已经训练好的模型在新任务上进行微调的方法。在人脸特征识别中，可以使用预训练的人脸识别模型（如 FaceNet、VGGFace 等）来提取人脸图像中的特征表示，然后在新任务上进行微调，以适应特定的应用场景。

2 面向人脸特征驱动的近视眼镜镜架个性化设计方法

面向人脸特征驱动的近视眼镜镜架个性化设计方法是一种以用户人脸特征为基础，实现镜架设计与用户面部特征高度匹配的设计方法。该方法的核心思想是利用 3D 扫描技术获取用户的人脸三维数据，并通过深度学习等算法提取人脸特征，如鼻尖、眼角等关键特征点，进而构建出完整的人脸三维模型。接着，通过计算机辅助设计软件构建镜架的数字模型，并定义其尺寸参数。在此基础上，利用特征匹配和机器学习算法建立人脸特征与镜架特征

之间的映射关系,实现基于人脸特征驱动的镜架尺寸及形状特征的变形设计。此外,该方法还通过多目标优化算法进行镜架的平衡性设计,以适应左右眼度数差异。具体流程方法如下。

2.1 使用 3D 扫描技术获取人脸三维数据

采集人脸图像:首先,需要使用专业的 3D 扫描设备(如激光扫描仪、结构光相机等)对人脸进行扫描。这些设备能够捕获人脸表面的深度信息,并生成相应的点云数据。

点云数据处理:获取的点云数据包含了人脸表面上的大量离散点。为了进一步处理和分析这些数据,需要对其进行处理和重建,以获取人脸的完整三维形状。常用的处理方法包括点云配准、去噪和重建等。

配准(Registration):配准是将多个扫描得到的点云数据对齐到同一个坐标系的过程。常用的配准算法包括最小二乘法(Least Squares)、Iterative Closest Point(ICP)等。ICP 算法的迭代步骤可以表示为:

$$T_{k+1} = \arg \min_T \sum_{i=1}^N \|T p_i - q_i\|^2 \quad (1)$$

其中 T_{k+1} ,第 $k+1$ 次迭代的变换矩阵, p_i 和 q_i 分别是参考点云和目标点云中的第 i 个点。

在 3D 扫描技术中,去噪和重建是重要的数据处理步骤,本论文使用移动最小二乘平面拟合(Moving Least Squares Plane Fit, MLS)进行去噪,以及采用泊松重建(Poisson Reconstruction)算法进行重建。

移动最小二乘平面拟合是一种常用的去噪方法,它可以有效地平滑点云数据并去除噪声。其基本思想是对每个点周围的邻域进行平面拟合,然后将点替换为其在拟合平面上的投影点。对于每个点 p_i ,选择一个局部邻域。对于邻域中的点集合 $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$,使用最小二乘法拟合一个平面,并计算点 p_i 在该平面上的投影点。

假设平面方程为 $ax + by + cz + d = 0$,则对于点 $p_i = (x_i, y_i, z_i)$,距离的平方可以表示为: $D^2 = (ax_i + by_i + cz_i + d)^2$ 最小二乘法的目标是最小化所有点的距离之和,即:

$$\min_{a,b,c,d} \sum_{i=1}^n D^2 \quad (2)$$

通过求解上述最小二乘问题,可以得到最优的平面参数。

泊松重建是一种基于体素(Voxel)的表面重建方法,它利用点云数据生成密集的三角网格表面,具有较高的重建精度和准确性。首先将点云数据转换为体素表示,计算体素中的梯度场,最后根据梯度场进行泊松重建,生成三角网格表面。

泊松重建的核心思想是基于梯度场的插值。假设体素表示为 V ,梯度场表示为 ∇V ,则泊松方程可以表示为: $\nabla \cdot (\nabla f) = \Delta f = 0$,可以得到 f 的近似解,进而生成三角网格表面。

2.2 眼镜镜架特征参数化设计

眼镜镜架的特征参数化设计是通过参数化设计软件对眼镜镜架模型进行构建,并定义其尺寸、形状等特征参数的过程。

利用参数化设计软件构建眼镜镜架模型:在参数化设计软件(如 SolidWorks、CATIA 等)中,设计师可以通过绘制草图、应用特征操作等功能来创建眼镜镜架的模型。这些软件提供了丰富的建模工具和功能,使得设计师可以根据需求快速构建复杂的眼镜镜架结构。



图 3 参数化设计软件构建眼镜镜架模型示意图-1

定义眼镜镜架的尺寸、形状等特征参数:在构建眼镜镜架模型的过程中,设计师需要定义一系列的特征参数,以控制眼镜镜架的尺寸、形状等属性。这些特征参数可以包括但不限于镜框的宽度、高度、鼻梁距离、腿长等。通过合理地定义这些特征参数,可以实现对眼镜镜架模型的灵活控制和调整,从而满足不同用户的个性化需求。



图 4 参数化设计软件构建眼镜镜架模型示意图-2

2.3 人脸特征与镜架特征映射关系建模

首先,从人脸图像中提取关键的面部特征,这些特征可能包括人脸轮廓、眼睛位置、鼻子形状等。同时,针对眼镜镜架,提取相应的特征参数,如镜框的宽度、高度、鼻托的位置等。我们采用最近邻算法完成特征匹配工作,通过计算人脸特征与眼镜镜架特征之间的距离,从已有数据集中选择距离最近的样本作为匹配结果。并通过回归分析拟合一个函数模型来描述自变量(人脸特征)和因变量(镜架特征)之间的关系。

3 实验与分析

3.1 数据收集

为了建立有效的映射关系模型,我们首先收集了大量包含人脸特征和相应镜架特征的训练数据集。这些数据的获取通过以下步骤完成:

利用 3D 扫描技术对志愿者进行了面部扫描工作,得

到了大量的高精度人脸三维点云数据,数据中包含着面部轮廓、眼睛位置、鼻子形状等关键特征,方便我们的下一步处理。

同时,我们收集了各种类型和款式的眼镜镜架数据,包括不同形状、大小和材质的镜架样本。这些数据涵盖了眼镜镜架的尺寸、形状和其他重要特征,对收集到的人脸数据和眼镜镜架数据进行标注,标记出每个样本对应的人脸特征和镜架特征。这一步骤确保了数据的准确性和可用性,为后续模型训练提供了基础。

我们从原始数据中提取出有意义的特征信息,如人脸的轮廓、眼睛位置、鼻子形状等关键特征。这一过程借助特征检测和提取算法完成,以便后续模型训练和分析。

3.2 数据预处理

在进行数据分析和建模之前,我们对收集到的原始数据进行了一系列的预处理步骤,以确保数据的质量和可用性。

针对所有的输入数据,我们首先利用滤波和平滑技术去除3D扫描过程中可能存在的噪声和不必要的干扰。这一步骤采用了高斯滤波器或中值滤波器等方法,以确保人脸数据的清晰度和准确性。接下来,我们对收集到的人脸数据和眼镜镜架数据进行了对齐处理,确保它们在同一坐标系下。这一步骤通过特征点匹配和配准算法实现,以保证后续分析和建模的准确性,详细方案已在第二章有详细阐述。

对提取出的特征数据进行标准化处理,使其具有相同的尺度和范围,我们通过均值归一化实现,以确保模型训练的稳定性和收敛性。检测和处理可能存在的异常值和错误数据,以避免对模型训练和分析的影响。这可以通过统计分析和可视化方法来实现,及时发现和修正异常数据。

3.3 建立映射关系模型

我们通过最近邻匹配模型与回归分析模型来建立映射关系,最近邻算法是一种简单而有效的非参数分类方法,它通过计算输入样本与训练样本之间的距离,选择距离最近的样本作为匹配结果。在本研究中,我们计算人脸特征与眼镜镜架特征之间的距离,从已有数据集中选择距离最近的样本作为匹配结果。通过提取如面部轮廓、眼睛位置、鼻子形状等关键特征;针对眼镜镜架,提取如镜框的宽度、高度、鼻托的位置获取参数信息,使用欧几里得距离等度量方法,计算人脸特征与眼镜镜架特征之间的距离,并选择距离最小的样本作为最终匹配结果。接下来,我们通过回归分析拟合一个函数模型来描述自变量(人脸特征)和因变量(镜架特征)之间的关系。详细流程如下:

(1) 数据准备:将已匹配的人脸特征和镜架特征数据分成训练集和测试集。

(2) 模型训练:采用线性回归、非线性回归等方法,

训练映射模型,使其能够准确描述人脸特征与镜架特征之间的关系。

(3) 模型验证:使用测试集对训练好的模型进行验证,评估其预测精度和泛化能力。

(4) 模型优化:根据验证结果,对模型进行参数调整和优化,以提高其性能。

4 结论与展望

通过本研究,我们成功使用最近邻匹配和回归分析方法建立了人脸特征与镜架特征之间的映射关系,为个性化眼镜镜架设计提供了有效的解决方案。回归分析模型在预测未知人脸特征对应的镜架特征方面表现出了较高的准确性和泛化能力,为眼镜行业的发展带来了新的机遇。然而,我们也意识到在模型优化、数据集扩充和实时应用等方面仍有改进的空间。

在未来的工作中,可以进一步优化回归分析模型,采用更复杂的回归方法或者深度学习模型,提高映射模型的准确性和泛化能力。同时也应增加数据集的规模和多样性,包括更多的人脸特征和镜架特征样本,以提高模型的训练效果和泛化能力。

基金项目:海南省大学生创新创业项目,项目编号:S202313892038。

[参考文献]

- [1]许慧贤,唐瑜洁,禹静,等.眼镜镜框内侧轮廓三维重建方法研究[J].中国测试,2014,12(12):1-9.
- [2]张琪立,马民生,薛艳芬.基于深度学习技术的人脸识别算法优化与应用研究[J].信息记录材料,2023,24(12):146-148.
- [3]边子宸.基于数字图像处理技术的人脸识别算法研究[J].电子元器件与信息技术,2023,7(11):87-89.
- [4]赵茹楠,陈洋.基于联合深度特征学习的海量人脸识别算法研究[J].信息与电脑(理论版),2023,35(17):80-82.
- [5]胡玮文.高精度3D人脸重建关键环境及可微分渲染技术研究[D].广东:华南理工大学,2023.
- [6]向勇.易拆装眼镜[M].浙江:温州格瑞光学有限公司,2021.
- [7]李琼.基于光谱匹配滤波的线结构光扫描人脸轮廓三维成像系统[J].武汉职业技术学院学报,2020,19(5):112-115.

作者简介:王泉霖(2002—),男,河南省滑县人,本科生,研究方向:虚拟现实技术;高晓阳(2003—),男,河北石家庄市人,本科生,研究方向:人工智能图像处理;杨婷婷(1981—),女,山东淄博市人,副教授,硕士,研究方向:虚拟现实技术。