International Journal of Communication and Information Technology

电子国际标准连续出版物号：2707-6628印刷版国际标准连续出版物号：2707-661X 影响因子（RJIF）：5.
5
6
www.computersciencejournals.com/ijcitIJCIT
2025年；6(2)：214-225 收稿日期：05-11-2025 接受日期：09-12-2025

Aya Kaysan Bahjat伊拉克巴格达研究生信息学研究所

通讯作者：Aya Kaysan Bahjat巴格达伊拉克巴格达研究生信息学研究所

人脸识别技术综述

Aya Kaysan Bahjat

DOI：https://www.doi.org/10.33545/2707661X.2025.v6.i2c.167

摘要
随着多媒体内容快速增长，人脸识别领域已成为主要研究领域之一，近年来尤为如此。对于图像处理和计算机视觉领域的研究人员而言，最棘手的对象是人脸。它是一种复杂对象，具有无数可用于识别人脸的独特特征。本综述尤其聚焦于最具挑战性的人脸特征，包括光照差异、衰老、姿态变化、局部遮挡和面部表情，并介绍相应的方法解决方案。因此，在人脸图像上使用的有效人脸识别机制，其构建过程中必然要考虑这些因素。本文回顾了最先进的人脸检测方法，包括隐马尔可夫模型、主成分分析（PCA）、弹性簇图匹配、支持向量机（SVM）、Gabor波、人工神经网络（ANN）、特征脸、独立成分分析（ICA）和三维可变形模型。除上述研究外，我们还分析了多个人脸数据库中的图像，即 JAFEE、FEI、耶鲁、LFW、AT&T（当时称为 ORL人脸数据库）以及 AR（由 Martinez 和 Benavente 创建），以分析相关结果。然而，本综述旨在全面回顾人脸识别及其应用，并在详细讨论之后于文末提供一些实验结果。

关键词：人脸识别、老化、照明、姿态变化、局部遮挡

1. 引言

人们普遍认为，二十一世纪是科学进步显著的时代，在这一时代，人们在快速获得实现目标所需能力方面取得了重大进展。现代计算机技术的应用进一步印证了这一点，如今它已成为生活中不可分割的一部分，在现代世界中几乎无法离开它而生活。计算机的使用已广泛应用于各种活动，包括问题求解等简单和复杂的活动。其中一项贡献便是人脸识别技术，它利用内在特征识别人脸特征，是一项极具价值的工具。它已成为计算机视觉和《模式识别》中研究最为深入的领域之一。然而，人脸识别在众多应用中的普及也体现了其重要性，这些应用包括生物特征识别、监控和警务访问控制、信息安全以及智能卡。尽管如此，研究人员仍面临许多问题，包括局部遮挡、老化、姿态变化、光照变化和面部表情。

人脸识别的概念可分为两个阶段，即人脸验证和人脸辨识。在前一阶段，系统会将给定图像中的特定面部结构与某个具体个人进行匹配；在后一阶段，系统会提取显著的面部特征，并与面部数据存储库中编码的信息进行比对，以确定图像中的人物是谁。然而，目前一些基于人脸识别的身份认证程序可靠性不足。例如，钱包、智能卡、令牌和加密密钥等传统安全凭证通常使用密码和个人身份号码；这些凭证的设计给用户带来了沉重的记忆负担，因而难以记住。此外，这些代码和密码很容易被遗忘；而且，磁卡也可能丢失、被盗或遭到复制。因此，它们可能变得无法读取。与个人的生物特征和特性不同，它们不会丢失、遗忘或放错位置 [1]。生物识别系统可以通过多种方法构建。不过，最常用的识别模态包括虹膜和指尖。

这些识别模态需要个人介入才能进入系统。

此外，较新的系统允许参与者无需直接介入即可访问。人脸识别是最有可能轻易追踪并监视系统内个人的技术之一。从可控的人脸识别数据库到不可控的视频，例如在视频中使用 (YouTube Faces) YTF [2]，以及在图片中使用 (Labeled Faces in the Wild) LFW [3]。

2. 数据库

目前有许多可供研究使用的公开和私人脸部数据库。这些数据库根据若干因素彼此区分，主要因素如下：

• 最关键的标准是每个数据库中的照片数量。• 各个类别中的照片数量：由于每个人物在类别 c 中都有自己的特征，因此特定类别中的照片数量代表该人物的代表性照片数量。实际上，这些照片是在不同条件下拍摄的（年龄、面部表情等）。• 是否存在遮挡（络腮胡、眼镜等）。

• 所获取人物的性别。• 图片的数量。

• 是否包含静态图像或视频。• 拍摄间隔。• 人脸对齐和姿态。• 光照变化。

• 是否具有共同背景。

因此，在评估算法时，建议选择合适的数据库。实际上，各种数据库都有明确界定的协议，可直接用于比较结果。此外，选择还应根据所要解决的研究问题而定，例如老化、面部表情、照明等。为每个人提供多张图片，也可能是确保算法正常运行的关键因素。如表 1 所示，种类繁多的二维人脸数据库在灰度图像与 RGB图像、每位受试者的图像数量、每位受试者的图像总数，以及图像差异方面各不相同；图像差异包括遮挡 (o)、老化 (a)、姿态 (p)、面部表情 (e) 和照明 (i)。

表 1：主要的二维人脸数据库（图片差异通过（e）面部表情、（p）姿态、（a）老化、（i）照明和（o）遮挡表示）

数据库	RGB 彩色/灰度	数量 图片/人物	数量 人物	图片 Size	变化
耶鲁 [4]	Gray	165	15（14 名男性和 1 名女性）	320 × 243	i,e
AT&T [5]	Gray	10（每人图片数）	40	92 × 112	i,a
XM2VTS [6]	RGB	2360	295	576 × 720	p
AR 数据库 [7]	RGB	4,000	126（56 名女性和 70 名男性）	576 × 768	o,e,i,a
CVL [8]	RGB	每人 7 张图片	114 人（6 名女性和 108 名男性）	640 × 480	e,p
Oulu Physics [9]	RGB	每人 16 张（另加 16 张如果戴眼镜）	125	428x569	i
JAFEE [10]	Gray	213	10	256 × 256	e
FEI 数据库 [11]	RGB	2800	200	640x480	p,e,i
LFW [3]	RGB	13,233	5749	250 x 250	P,i,e,o,a

3. 人脸识别系统的结构

一个成熟的人脸识别系统包含三个主要阶段；1）人脸检测 2）特征提取 3）人脸识别 [12]。人脸检测阶段用于识别和搜索系统获取的人脸图像。而特征提取阶段是用于从第一阶段检测到的任意人脸中提取特征向量；最后是人脸识别阶段，将从人脸中提取的特征与所有模型人脸数据库进行比较，以确定该人脸的身份。图 1 展示了人脸识别的结构。

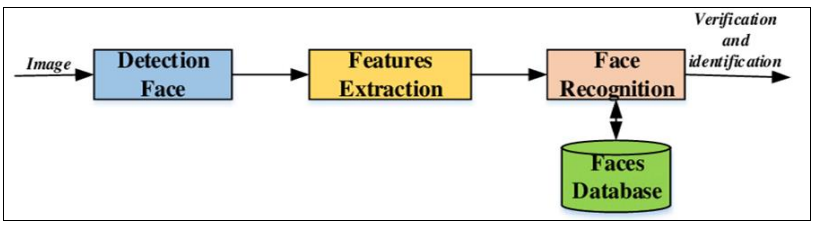


图 1：人脸识别结构 [12]

3.1. 人脸检测

人脸识别系统的初始阶段包括在给定图像中定位人脸，如图 2 所示。此步骤旨在确定输入图像中是否存在人物的人脸。人脸旋转、光照等因素可能会妨碍正常的人脸识别。预处理步骤用于简化人脸识别系统的开发使其功能更加强大。检测和定位人物面部图像的方法有很多，例如：方向梯度直方图（HOG）[13], Viola-Jones 检测器[14] 和主成分分析（PCA）[15]，也可以将人脸检测步骤应用于目标检测[16], 、感兴趣区域检测[16], 、图像和视频分类等。

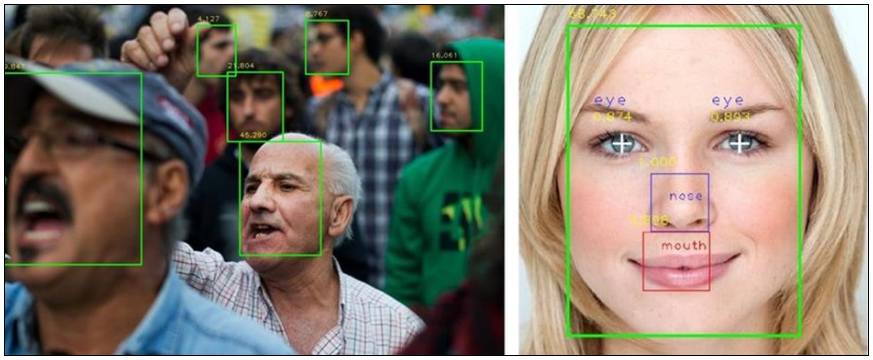


图 2：人脸检测示例 [17]

3.2. 特征提取

当前步骤对于提取上一检测阶段中找到的相同面部特征至关重要。以人脸为例，如图 3 所示，该步骤会将人脸编码为一组向量数据，也称为特征签名；我们将面部图像的显著特征编码其中，这些特征包括眼睛、嘴巴、鼻子及其几何投影[22, 14]。人脸的规模、形状和结构排列各不相同，因此可以据此识别人脸。大多数因此，现代方法着重提取鼻子、嘴巴和眼睛的几何形态，以便识别受试者，通常会采用距离度量和维度分析 [12] 例如：局部二值模式（LBP） [18]，傅里叶变换 [19]，局部相位量化（LPQ） [20]，尺度不变特征变换（SIFT） [13]，线性判别分析（LDA） [21]，特征脸 [21]，以及方向梯度直方图（HOG） [13] 都广泛用于提取面部特征。

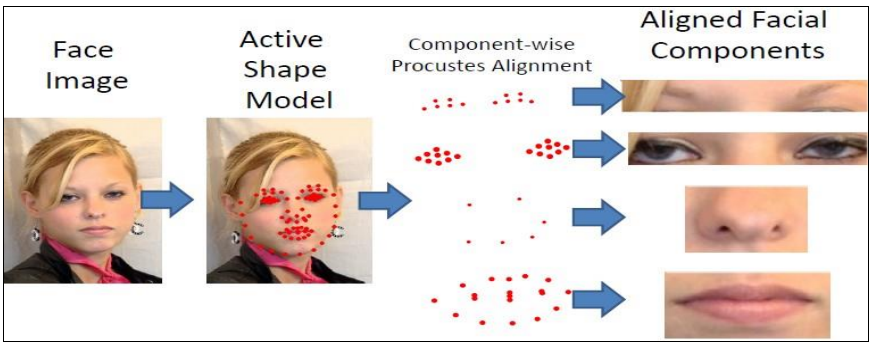


图 3：人脸组件 [22]

3.3. 人脸识别

该过程通过在特征提取阶段提取背景特征来完成，然后将其与预先确定的数据库中存储的已知人脸模板进行比较。人脸识别通常分为两个阶段，即身份识别和随后的身份验证。在身份识别过程中，将待测人脸与一组人脸图像进行比较，以筛选出最相似的原型。随后进行身份验证，将候选人脸与存储库中给定的已知模板进行比较，据此作出接受或拒绝的决定 [23]。最先进的算法，如 k 近邻（K -NN） [24]，卷积神经网络（C NN） [25]，和相关滤波器（CF） [26]，在这项任务中表现良好。图 4 展示了这一识别过程的示意图。



图4：人脸识别示意图 [27]

4. 人脸识别模型

人脸识别应用采用三种不同的方法，即二维、三维和视频。我们将在以下章节讨论人脸识别相关问题。

4.1. 二维人脸识别

使用二维静态图像进行人脸识别的研究已有十多年历史[28]。基于二维固定图像的人脸识别系统，需要采集用户图像，并将其与采集图像集合进行比对，以识别出该用户。在这种技术中，用户需要配合，并提供一张在相同光照条件下拍摄、背景为纯色的人脸正面图像，以便获取并分割出高质量的人脸图像。尽管如此，如今人们已经认识到，照明和姿态上的细微缺陷会大幅降低基于单次拍摄二维图像的人脸识别系统的性能[29]。如表 2 所示，二维人脸识别通常根据每幅图像所用图片的数量进行分类。

表 2：二维领域中的人脸识别场景

探测图像	图库	
	单张静态图像	多张静态图像
单张静态图像	一对一	一对多
多张静态图像	多对一	多对多

许多高度成熟的二维人脸识别算法依赖线性判别分析（LDA）[30]，基于相关性的匹配[31]，弹性图模型（EGBM）[32]以及主成分分析（PCA）[33]。

4.2. 三维人脸识别：三维人脸识别方法利用人脸表面的形状[34]。与二维人脸识别不同，三维方法不受照明和姿态变化的影响，因为三维形状对这些因素具有固有的不变性。用于捕获人脸三维图像的深度传感器通常覆盖左右约 120° 的范围。这种半维图像称为 2.5D图像。值得注意的是，将 3 至 5 幅此类 2.5D扫描图像合并起来，即可构建一个完整的三维模型，呈现人脸的完整 360度视图。通常，探测图像是 2.5D 捕获图像，而数据库可以包含 2.5D记录或完整的三维重建模型。可以进行二维深度图像到二维深度图像识别[34]，也可以进行二维图像到三维人脸模型识别[35]。表 3 在表 2 的基础上，纳入了二维和三维人脸表示。

表 3：二维和三维领域中的人脸识别场景

探测图像	图库	
	二维图像、三维模型或 2.5D 图像	
二维图像	二维到二维	二维到三维
2.5 图像	二维到二维	二维到三维

这种方法有很多种，其基础是根据一系列二维图像构建的三维模型[36]。生成的三维模型用于生成一系列反映探测图像的二维投影[35]。此外，重建的三维图像能够直接呈现处于任意姿态和光照条件下的探测图像。随后，通过与正面对应图像进行比较来识别合成的探测图像。图5展示了一个三维人脸模型，以及在不同姿态和光反射条件下拍摄的人脸二维投影[37]。

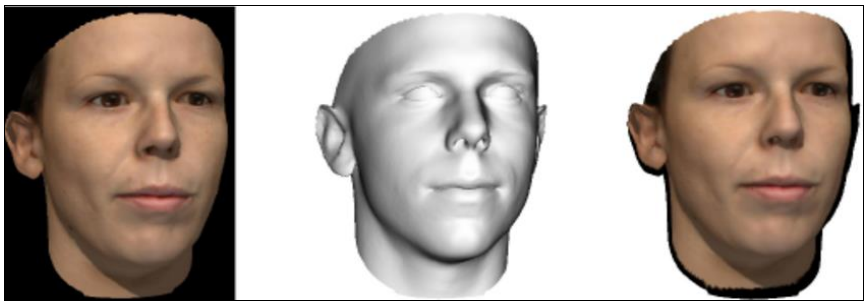


图5：三维人脸模型及其二维投影[38]

4.3. 视频中的人脸识别

尽管传统的人脸识别系统大多使用静态图像，但学术界正兴起一种趋势，即开发以视频为输入的强健人脸识别系统。由于监控摄像头十分普遍，基于视频的人脸识别一直备受关注。利用这类影像实时自动识别人脸的能力，可应用于多种场景，例如通过既有的监控摄像头网络秘密识别某个人。然而，从视频流中获取的人脸图像通常呈现非正面姿态，且光照差异往往很大，这会影响许多商用人脸识别系统的性能。

视频数据有两个显著特点：i）它提供同一对象的多个帧；iii）它包含时间信息。多个帧之间存在变化，因此可以挑选质量较高的帧，例如一张效果良好的正面人脸照片，从而获得更好的识别性能。人脸会动态变化，这些变化与视频中随时间呈现的信息有关。然而，人脸运动是否能够编码身份相关线索仍难以确定；要利用时间维度，还需要开展更多研究。利用视频的特性有助于人脸识别系统的工作。图6展示了人脸识别研究中一段理想视频片段的4个帧[37]。

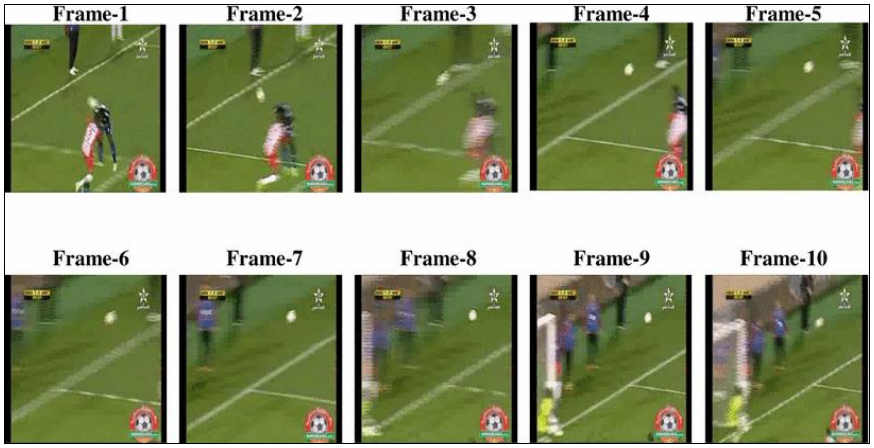


图6：视频中的四帧 [19]

5. 挑战与难点

尽管各种人脸识别算法已逐步发展，但仍面临诸多挑战。如下文所述，这些问题仍严重阻碍着这些算法的发展 [39]：

5.1. 若干人脸图像数据库，例如参考文献

这些数据库经过分类，用于比较人脸识别算法。所有数据库都经过维护，以便分析某一特定因素，例如遮挡、姿态、面部表情或照明。

以往的研究表明，在受控环境下，人脸识别系统已相当成熟；然而，将其应用于实际场景时，则会面临许多复杂问题。

5.2. 人脸识别与物体识别相比具有特殊性，且更具挑战性：正面图像往往具有高度的视觉相似性，因此彼此之间的差异通常十分细微，需要进行严格细致的分析。近期研究采用尖端识别算法，对 FAT、FERET 和 FRVT 等先进数据库进行测试，并指出影响算法效能的主要障碍是照明、年龄和姿态。

5.3. 应根据应用需求选择人脸识别算法：例如，基于特征的技术无法用于低分辨率（例如 15 x 15 像素及以下）的人脸图像。另一个问题是如何正确使用降维方法：开发系统时，哪些情况下应使用线性判别分析，哪些情况下应使用主成分分析或独立成分分析？

5.4. 实施细节通常用于说明系统的性能：现代图像处理实践要求对输入的视觉数据进行归一化处理，以校正平面内旋转、掩蔽、仿射变形和缩放，从而实现底层形状的精准对齐。

5.5. 从远距离拍摄图片时，低分辨率是影响人脸识别的重要因素

此外，眼部遮挡会对准确性产生负面影响大多数人脸识别系统；这些系统通常会对输入图像进行归一化和缩放，然后识别图像。

5.6. 面部被遮挡时，识别率会迅速下降：同样，显著影响识别率的结构性要素还包括胡子、眼镜和络腮胡。

5.7. 要获得良好的识别性能，精准的特征定位至关重要：从特定角度观察面部时，部分构成特征会发生变形，从而使各种人脸识别算法失效。年龄、光照和姿态是当前人脸识别算法仍面临挑战的主要干扰因素。

6. 影响人脸识别的因素

在照片和视频序列中检测人脸是一项非常困难的工作。尽管人们提出了众多方法论和理论，但没有一种能够做到绝对准确，这主要是因为该问题领域本身存在诸多固有难点。

根据 [40] 的概述，这些难题可分为两大类，即内部因素和外部因素。

内部因素包括面部的生理状态、表情动态和年龄引起的变化等内在特征，这些因素会影响系统性能。另一方面，外部因素与环境有关，会改变面部外观，例如光线变化。

6.1. 老化

老化问题被认为是现代人脸识别技术中最重要的混淆因素之一，实际上，它使生物特征验证对大多数算法而言变成了一项杂乱且充满噪声的过程。稳定性需求是任何要被视为可信生物特征信号的生物测量的基本特征。人脸是由表皮组织、骨骼和运动肌肉构成的异质性复合体；后者的任何收紧都必然会导致人脸外部标志点发生微变形。然而，随着年龄增长，这些特性会日益衰退，从而导致个体外貌发生显著变化；随着其逐渐老去，这些变化表现得最为明显，见图 7：一

注意到皮肤纹理的发展，包括细微皱纹以及面部特征的逐渐改变。因此，任何旨在构建的可行识别系统都必须考虑这些纵向变化。为减少年龄相关漂移，相关研究工作因此得以开展 [40]。缓慢

然而，生物衰老的特性对可用于训练强分类器的纵向数据规模构成了极大的限制，也使得收集年龄逐步变化的样本成为一项艰巨任务。因此，过去几年中，年龄鲁棒性研究受到了学术界的广泛关注。

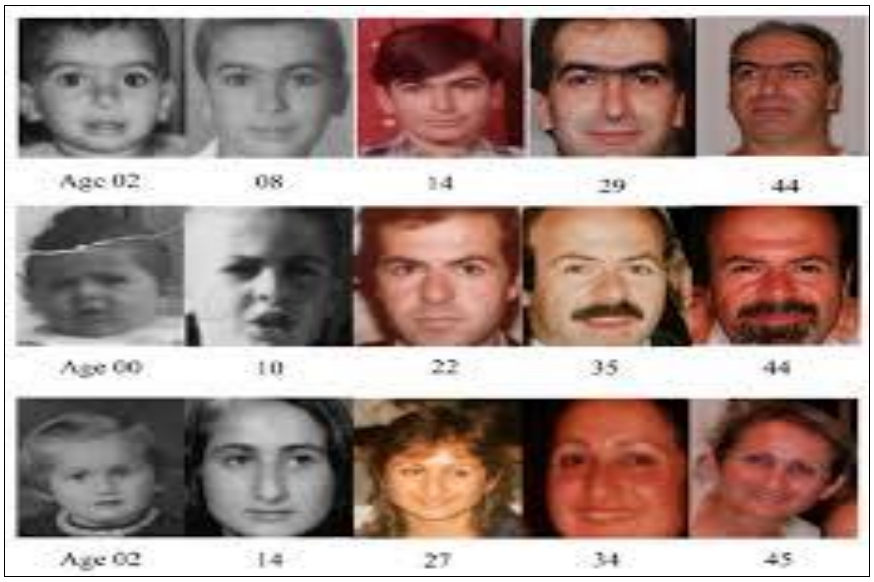


图 7：同一受试者在年龄（a）5 岁、（b）10 岁、（c）16 岁、（d）19 岁和（e）29 [41] 时的图片

6.2. 面部表情：面部表情是一种非言语交流方式，人们通常认为它通过面部肌肉的运动来传递信息。然而，面部表情的多样性会给人脸识别系统带来歧义。许多人脸识别系统经过设计，能够很好地处理受控环境下的图像。不同的面部表情对应着

不同的情境和情绪，会改变面部几何结构，如图 8 所示；即使图像发生细微变化，也会使人脸识别变得困难。研究人员在研究人脸识别时，已将面部表情因素考虑在内 [42]。这一问题可以通过多种方法解决，包括基于肌肉的方法、基于运动的方法和基于模型的方法。



图 8：日常生活中的一些面部表情示例 [42]

6.3. 姿态变化
头部姿态的变化是影响人脸识别系统效率的一大障碍。这是因为拍摄受试者时，每次拍摄所呈现的姿态都不尽相同，如图 9 所示。由于缺乏标准姿态，因此很难区分并识别姿态各异的图片中的人脸。因此，许多系统只能在严格受控的成像条件下运行。

根据图库中图像的性质，用于减少姿态变化影响的策略可分为两类：特定姿态识别和多视角人脸识别。后者可视为某种正面人脸识别。

附录强调了纳入图库的必要性

各种不同姿态下的图像。另一方面，在实现人脸识别时，必须考虑系统不熟悉的人脸。因此，强大的人脸识别方法应能应对姿态变化，并仍能识别处于各种姿态下的受试者。这一领域仍面临许多挑战。事实上，目前有许多研究人员正在努力解决这些缺陷。为此，理想的精准系统尚未实现。通过若干通常归为三大类的方法和技术，可以减少可变人脸识别和姿态变化带来的问题：二维技术、通用算法和三维模型。



Fig 9：FERET 数据库中的一些姿态变化示例 库 [44]

6.4. 局部遮挡：遮挡可定义为图像中出现的人为或自然屏障。

应对局部遮挡问题的人脸识别方法大致可分为几类，即基于分形的方法、基于特征的方法以及基于部件的方法 [45]。局部遮挡会影响面部的许多部位——耳朵通常会受到耳环的影响，导致人脸识别变得困难。

研究表明，遮挡会对系统性能产生负面影响：人们会故意用围巾、太阳镜、面纱遮住脸，或将手机或手放在脸前，如图 10 和图 11 所示。

有时人们会指出，其他因素也会造成遮挡，例如强光照产生的阴影。对于部分被遮挡的人脸，我们将采用分析策略。这类分析方法会将人脸拆分成不同部分。移除某些特征或许可以避免这一问题，因为这些特征会导致图片中的人脸无法被准确识别。这些分析方法通常依赖特征分析，先找出信息量最大的特征，再将其整合起来。另一种方法则近乎整体式：忽略被遮挡的特征，并将其余人脸数据作为有效数据使用。科学家们目前正在研究许多克服这一问题的方法 [46]。



图 10：局部遮挡示例 [21]



图 11：Hand2Face 中呈现的遮挡效果人脸 [47]

《伊本·海赛姆纯粹与应用科学杂志》34 (2) 2021 6.5. 照明的影响

如图12所示，照明变化会显著影响人脸识别，因此引起了学术界的广泛关注。

基于静态照片或视频录像准确识别一个或多个人，正变得越来越困难。虽然从受控条件下拍摄、背景均一的照片中提取所需信息相对容易，但要识别在非受控条件下拍摄、背景异质的人脸，则颇具挑战。这种复杂性由阴影、曝光不足和曝光过度等因素造成。

研究人员特别关注如何解决这些问题，并设计出能够减轻照明变化影响、增强识别能力的方法。

解决这一问题主要有三种方法：人脸反射场估计、灰度归一化和基于梯度的边缘提取。灰度转换算法通过线性函数或非线性函数进行逐点映射。使用基于梯度的技术，在灰度图像中提取边缘。由于照明也是视频或静态图像人脸识别中的一个重要混杂变量，因此上述方法均经过优化，以减少该问题带来的负面影响 [48]。



图 12：耶鲁人脸数据库 B 中的一些照明变化示例 [49]

人脸识别的优势

高成功率：当前的人脸生物识别技术已展现出极高的准确度，尤其是引入三维人脸识别系统之后。这类系统能有效防范欺诈活动，因此相关方可以信任这些系统准确记录考勤和时间，同时提升安全措施。

2. 易于集成：事实上，在公司中使用人脸生物识别系统很容易实施。它们通常能够与您现有的软件良好兼容。

3. 自动化系统：许多企业都表明，他们重视生物特征人脸识别系统的自动化，因为这类技术效率高，而且所需人力较少。因此，无需担心必须有人在场进行监控，因为该系统本身就是自动化的，无需人工参与。

4. 更高的安全性

采用人脸生物识别系统后，安全性将显著提升。您不仅可以追踪员工，还可以将任何访客添加到系统中，并追踪他们在整个场所内的活动。任何未在系统中登记的人员都不得进入。

5. 不存在时间欺诈

在人脸生物识别系统用于协会的诸多优势中，必须指出，这种方法有助于杜绝时间欺诈问题。因此，代打卡员工无法得逞，因为每位成员都必须进行人脸扫描才能签到 [50]。

8. 结果

这里，我们对表4所呈现的实验结果进行了深入比较，阐明了数据库、方法、发表年份、作者和研究结果之间的差异。

表4：实验结果

No.	作者	Year	技术	数据库	结果
1	Vankayalapati 等人 [51]	2009	CNN	ORL	95%
2	Kong, Rui 等 [52]	2011	独立成分分析、支持向量机	ORL	96%
3	Bellakhdhar 等 [53]	2013	Gabor幅度与相位、主成分分析、支持向量机	ORL人脸数据库、FRGCv2人脸数据库	99.90%
4	Jameel ，S. [54]	2015	主成分分析 + 离散余弦变换	ORL	95.122%
5	Fathima等人 [55]	2015	Gabor小波和线性判别分析（LDA）	AT&T、MIT-India和Faces94数据集	88-94.02%
6	Ghorbel等人 [56]	2016	特征脸和高斯差分滤波器	FERET	84.26%
7	Bhaskar、A. 等人。[57]	2016	SVM	耶鲁人脸数据集	97.78%

8	Fu等人 [58]	2017	引导卷积神经网络，the 损失函数	CASIAWebface、LFW	91.9-97.1%
9	Khan等人 [59]	2018	PCA	NCR-IIT人脸数据库和 实时视频流	69-86%
10	Banerjee等人 [60]	2018	监督学习、Viola-Jones、通用三维 模型	PaSC视频和CW 图像、CMU multi-PIE 数据集	88.45-97.28%

10. 人脸识别应用

不断提高人脸识别系统准确性的努力，源于该系统在众多领域的广泛应用。它可应用于多个领域，包括：

10.1. 执法

事实证明，人脸识别系统在执法机构搜寻失踪人员和识别嫌疑人方面非常有效。视频录像时长动辄数小时，人工检索以识别人物十分耗时，对执法部门的管理人员而言也是一项繁琐的工作。据报道，中国执法机构的官员近期利用一个拥有超过1.7亿台摄像机、具备人脸识别能力的强大闭路电视网络，在不到七分钟内识别出了 BBC 新闻记者 John Sudworth。人脸识别领域的最新创新为执法机构的研究人员提供了新一代智能而有效的调查工具。世界各地人口稠密的社会还面临着另一项重大挑战，即签证逾期和非法居留问题。

人脸识别技术能够高精度地识别违反或以其他方式触犯移民法的人员，从而使其得以被逮捕。此外，这项技术正逐步应用于不同领域，例如移民管制、反恐行动、刑事调查、选民登记和金融服务 [61]。

10.2. 娱乐

人脸识别技术的普及在娱乐产业中变得越来越受欢迎。潜在的发展领域包括主题公园游戏区、训练模拟器、人机交互、人机交互、移动游戏和虚拟现实房间等。

此外，T. Feltwell 等人最近推出了一款新游戏，其挑战在于让参与者从观众中辨别面孔之间的相似之处。以标志性的宝可梦游戏等免费增值游戏为例，作者提供了一种变化体验，让用户主动寻找并捕捉现实中的人类 [62]。

10.3. 监控：监控是全自动智能监控系统中最重要、也最棘手的项目之一。按照传统含义，监控指监督或密切观察的行为，尤其是在涉及犯罪间谍活动或追捕嫌疑人时。它是这一领域中最受欢迎、应用最广泛的应用之一。这些系统旨在满足室内外环境中的安全目标，包括地理边界、银行大厅、机场到达区和街道等。由于摄像机网络可能产生海量数据，传统的蛮力检测算法无法有效用于在敏感区域识别恐怖分子和嫌疑人。近期的人脸识别研究进展为智能视频监控系统提供了途径；这类系统融合了软件和硬件系统，包括机器学习系统、信号处理系统、模式识别系统和自主接口，从而取得了极为乐观的成果（参见参考文献）[63]。其次，基于机器学习的识别方法已被证明在各种真实场景中的表现优于人类识别，显著提高了效率。嵌入监控系统的人脸识别模块可以成为有力工具，帮助工作人员执行识别任务，并借助机器和人的各自优势，组织复杂的监控流程。然而，尽管近期的发展取得了令人期待的成效，高效监控仍面临重大挑战，包括训练样本不足，以及受试者图像受到遮挡或模糊（参见引文）[64]。

10.4. 访问控制

随着人脸识别的使用日益普及，此类系统已被广泛集成到控制人机交互的自动访问控制系统中。因此，其他形式的身份验证，例如虹膜验证、生物特征指纹和加密密码，也得到了开发，用于补充或替代这些系统。闭路电视设备的广泛使用，以及智能手机内置摄像头的普及，使人脸识别能够在各种可行条件下得到更广泛的应用。硬件验证 基于硬件的验证也正在迅速发展，使基于人脸的授权能够单独登录网络并访问多种服务。因此，自动取款机上的人脸生物特征认证、密文处理和电子资金转账正在各种社会技术环境中变得越来越普遍 [65]。

10.5. 移动端人脸认证

人脸身份验证也已成为移动技术关注的焦点，应用程序可以在用户访问电子银行等敏感服务之前验证其身份。我们必须立即研究人脸识别系统的各个方面，例如其部署限制以及易受呈现攻击的程度，尤其是在移动环境中 [41]。

10.6. 其他常见应用

最近，Kwon 和 Lee [66] 介绍了嵌入程序中的多种人脸识别算法。Salici

和 Ciampini 在一项互补研究中探讨了人脸识别系统在法证调查中的应用，并强调了其实用性和方法学问题。

这些身份识别技术已在130个真实场景的实证评估中证明行之有效。法证专家也认可了研究结果，从而证实了相关操作中所用方法的准确性和可靠性。

此外，Calo等人还提出了另一种现代方案，旨在处理电子数据生命周期内的个人隐私问题。该模型探讨了信息的感知、更新和安全删除问题，从而进一步拓展了数字时代隐私保护这一主题的讨论。

10.7 智慧城市中的人脸识别

《2018年市场研究报告》指出，生物识别市场预计将在2018年至2023年间增长138.9亿，达到418亿；同期，人脸识别技术的增长速度预计将显著更快。对此，人脸识别市场将在智慧城市、智能家居、智慧教育等新兴应用领域（尤其是电子政务服务中的身份验证）发挥重要价值。除了技术问题之外，使用可公开访问的人脸识别系统还可能引发伦理问题，并引出有关能否使用和操纵数据的疑问，而这些数据属于最敏感的隐私数据之一。此类考量正逐渐通过数据保护法得到体现，其中最突出的是欧盟的《通用数据保护条例》（GDPR）；该条例旨在保护人们免遭任何第三方不公平处理其个人数据。因而，亟须引入新的法律工具来规范人脸识别技术的使用，从而保护生物识别数据。

11. 结论

多年来，人脸识别研究一直是学者面临的难题之一。由于其在计算机图形学、模式识别、安全和计算机视觉等实际领域有着广泛用途，因此受到了相当多的关注。本综述首先介绍人脸识别这一生物识别技术。在此基础上，我们将人脸识别模型分为三类，介绍该领域研究人员用于测试识别方法的人脸数据库，并在表4中总结实验结果。本文将全面概述在不同情境下开展的人脸识别主要研究。本文献综述旨在帮助该领域的后续学者提出有价值的方法、技术和模型，以推动进一步研究。

参考文献

1. Sharif M、Naz F、Yasmin M、Shahid MA、Rehman A. 人脸识别：一项综述。《工程科学与技术评论》。2017；10(2)：1-10。2. Wolf L 、 Hassner T 、 Maoz I. YouTube Faces 与面部关键点数据库 [Internet]. 2023年。可从以下网址获取：https://www.kaggle.com/selfishgene/youtube-faces-with-facial-keypoints 3. Huang GB, Learned-Miller E. 野外标注人脸（LFW）数据库 [Internet]. 2025年。可从以下网址获取：http://vis-www.cs.umass.edu/lfw/ 4. 耶鲁人脸数据库 [Internet]. 2021年。可从以下网址获取：http://vision.ucsd.edu/content/yale-face-database 5. AT&T（ORL）人脸数据库 [Internet]. 2024年。可从以下网址获取：https://www.kaggle.com/kasikrit/att-database-of-faces 6. XM2VTS人脸数据库 [Internet]. 2022年。可从以下网址获取：http://www.ee.surrey.ac.uk/CVSSP/xm2vtsdb/ 7. AR人脸数据库 [Internet]. 2020年。可从以下网址获取：http://www2.ece.ohio-state.edu/~aleix/ARdatabase.html 8. CVL人脸数据库 [Internet]. 2025年。可从以下网址获取：https://zenodo.org/record/1492287 9. 奥卢基于物理的人脸数据库 [Internet]. 2022年。可从以下网址获取：http://www.ee.oulu.fi/research/imag/color/pbfd.html 10. JAFFE面部表情数据库 [Internet]. 2021年。可从以下网址获取：https://www.kaggle.com/srv133034/jafee-dataset 11. FEI人脸数据库 [Internet]. 2024年。可从以下网址获取：https://fei.edu.br/~cet/facedatabase.html 12. Kortli Y, Jridi M, Al Falou A, Atri M. 人脸识别系统：综述。《传感器》。2020;20(2):342。13. Ouerhani Y, Alfalou A, Brosseau C. 使用HOG-SVM和相关性进行道路标志识别。载于：第十一届信息处理光学与光子学会议；2017年。第119-126页。14. Khabarlak K, Koriashkina L. 快速面部关键点检测及其应用：综述。arXiv预印本 arXiv:2101.10808。2021年。15. Wang M, Deng W. 深度人脸识别：综述。《神经计算》。2021;429:215-244。16. Meng Q, Zhao S, Huang Z, Zhou F. MagFace：用于人脸识别和质量评估的通用表征（补充材料）。17. Triantafyllidou D, Tefas A. 一种用于大规模视觉数据中人脸检测的快速深度卷积神经网络。载于：INNS大数据会议；2016年。第61-70页。18. Napoléon T, Alfalou A. 姿态不变人脸识别：基于单张照片的三维模型。《工程光学与激光》。2017;89:150-161。19. Hannane R, Elboushaki A, Karim A, Nagabhushan P, Javed M. 一种利用SIFT点分布直方图进行视频镜头边界检测和关键帧提取的高效方法。《多媒体信息检索国际期刊》。2016;5:1-12。doi:10.1007/s13735-016-0095-6 20. Karanwal S, Diwakar M. OD-LBP：用于人脸识别的正交差分局部二值模式。《数字信号处理》。2021;110:102948。21. Kocoń M, Pawlukiewicz S. 基于人脸图像的年龄估计和性别分类。《应用科学》。2025;15(18):10212。22. Klare B, Paulino AA, Jain AK. 同卵双胞胎面部特征分析。载于：2011年国际联合生物特征识别会议（IJCB）；2011年。第1-8页。23. Schlett T, Rathgeb C, Henniger O, Galbally J, Fierrez J, Busch C. 人脸图像质量评估：文献

综述。《ACM计算综述》。2022;54(10s):1-49。24. Sun Z, Tzimiropoulos G. 使用视觉变换器进行基于部件的人脸识别。arXiv预印本 arXiv:2212.00057。2022年。25. Dan J, 等. TransFace：从以数据为中心的视角校准人脸识别的变换器训练。载于：IEEE/CVF国际计算机视觉大会论文集；2023年。第20642-20653页。26. Huang B, 等. PLFace：通过渐进式学习应对人脸识别中的口罩偏差。《模式识别》。2023;135:109142。27. Abdullah IA, Stephan JJ. 使用人脸嵌入方法进行人脸识别。《土耳其计算机与数学教育期刊》。2021;12(10):3383-3394。28. Wang J, 等. 用于视觉识别的深度高分辨率表征学习。《IEEE模式分析与机器智能汇刊》。2020;43(10):3349-3364。29. Abdulsatar AD, Aljuboori AM. 人脸对齐的发展与挑战：综述。《卡迪西亚计算机科学与数学期刊》。2022;14(4):82。30. Hörmann S. 不利条件下的鲁棒人脸识别 [dissertation]. 慕尼黑：慕尼黑工业大学；2023年。31. Su W, Wang Y, Li K, Gao P, Qiao Y. 用于深度人脸识别的混合令牌变换器。《模式识别》。2023;139:109443。32. Meng Q, Zhao S, Huang Z, Zhou F. MagFace：用于人脸识别和质量评估的通用表征。载于：IEEE/CVF计算机视觉与模式识别大会论文集；2021年。第14225-14234页。33. Tewari A, Seidel HP, Elgharib M, Theobalt C, 等. 从图像和视频中学习完整的三维可变形人脸模型。载于：IEEE/CVF计算机视觉与模式识别大会论文集；2021年。第3361-3371页。34. Liu Y, Chen J. 用于姿态不变人脸识别的无监督人脸正面化。《图像与视觉计算》。2021;106:104093。35. Egger B, 等. 三维可变形人脸模型：过去、现在与未来。《ACM图形学汇刊》。2020;39(5):1-38。36. Huang Y, 等. CurricularFace：用于深度人脸识别的自适应课程学习损失。载于：IEEE/CVF计算机视觉与模式识别大会论文集；2020年。第5901-5910页。37. Aldrian O, Smith WA. 使用三维可变形模型恢复三维人脸形状和纹理的线性方法。载于：英国机器视觉大会论文集；2010年。第71-75页。38. Jing Y, Lu X, Gao S. 三维人脸识别：2022年全面综述。《计算视觉媒体》。2023;9(4):657-685。39. Santemiz P, Spreeuwers LJ, Veldhuis RNJ. 基于侧视人脸图像的自动人脸识别综述。IET《生物识别学》。2024;13(1):e7886911。40. Li S, Lee HJ. 用于跨年龄人脸识别的有效基于注意力的特征分解。《应用科学》。2022;12(10):4816。41. Hossain S, Umer S, Asari V, Rout RK. 一种统一的基于深度学习的面部表情识别系统框架及其多样化应用。《应用科学》。2021；11(19)：9174。42. Zhang Z、Chen Y、Yang W、Wang G、Liao Q。通过自适应角度蒸馏实现姿态不变人脸识别。载于：《人工智能促进协会人工智能会议论文集》；2022。第3390-3398页。43. Nadil M、Souami F、Labed A、Sahbi H。用于侧脸识别的基于KCCA的技术。《EURASIP图像与视频处理期刊》。2016；2016(1)：2。44. Zeng D、Veldhuis R、Spreeuwers L。遮挡条件下人脸识别技术综述。IET《生物识别学》。2021；10(6)：581-606。45. Ge S、Li C、Zhao S、Zeng D。通过身份多样性修复实现自然场景中的遮挡人脸识别。IEEE《视频技术电路与系统汇刊》。2020；30(10)：3387-3397。46. Ali W、Tian W、Din SU、Iradukunda D、Khan AA。传统与现代人脸识别方法：完整综述。《多媒体工具与应用》。2021；80(3)：4825-4880。47. Mokhayeri F、Granger E。基于成对稀疏表示模型的单样本鲁棒人脸识别。《模式识别》。2020；100：107129。48. Salamh ABS、Akyüz HI。用于人脸识别的新型特征提取描述符。《工程、技术与应用科学研究》。2022；12(1)：8033-8038。49. Raji ID、Fried G。正面观察：人脸识别评估综述。arXiv预印本 arXiv:2102.00813。2021。50. Kim HI、Yun K、Ro YM。面部形状引导的深度特征对齐：实现对人脸错位具有鲁棒性的人脸识别。IEEE《生物识别、行为与身份科学汇刊》。2022；4(4)：556-569。51. Nguyen DP、Nguyen TN、Dakpé S、Ho Ba Tho MC、Dao TT。针对面瘫患者，使用不同深度学习方法从单幅图像快速进行三维人脸重建。《生物工程》。2022；9(11)：619。52. Bellakhdhar F、Loukil K、Abid M。使用Gabor小波、主成分分析和支持向量机的人脸识别方法。《国际计算机科学问题期刊》。2013；10(2)：201。53. Jameel S。使用主成分分析和离散余弦变换结合隐马尔可夫模型的人脸识别系统。《国际计算机与通信工程高级研究期刊》。2015；4(1)：13-18。54. Fathima AA、Ajitha S、Vaidehi V、Hemalatha M、Karthigaiveni R、Kumar R。结合Gabor小波和线性判别分析的人脸识别混合方法。载于：2015 IEEE计算机图形学、视觉与信息安全国际会议；2015。第220-225页。55. Ghorbel A、Tajouri I、Aydi W、Masmoudi N。GOM、uLBP、VLC和分数阶特征脸在人脸识别中的比较研究。载于：2016国际图像处理、应用与系统会议；2016。第1-5页。56. Anand B、Shah PK。使用SURF特征和支持向量机分类器的人脸识别。《国际电子工程研究期刊》。2016；8(1)：1-8。

57. Fu TC、Chiu WC、Wang YCF。用于跨分辨率人脸识别的学习型引导卷积神经网络。载于：2017 IEEE第27届信号处理机器学习国际研讨会；2017。第1-5页。
58. Feng D、Yang J、Wei Y、Xiao H、Zhang L。利用时空特征进行监控视频高效人员搜索的方法。《应用科学》。2022；12(15)：7670。59. Wang Y、Dong X、Li G、Dong J、Yu H。基于级联回归的动态面部表情分析人脸正面化。《认知计算》。2022；14(5)：1571-1584。
60. Nosrati L、Bidgoli AM、Javadi HHS。使用人工神经网络识别智能银行系统中的人员面部。《国际计算智能系统杂志》。2024；17(1)：9。61. Feltwell T、Wood G、Linehan C、Lawson S。使用人脸识别技术的增强现实游戏。载于：《ACM交互系统设计会议伴随会议论文集》；2017。第44-49页。62. Zhang Y、Shao J、Ouyang D、Shen HT。使用两阶段卷积神经网络进行人员再识别。载于：第24届国际模式识别会议；2018。第3341-3346页。63. Bashbaghi S、Granger E、Sabourin R、Parchami M。视频监控中的人脸识别深度学习架构。载于：《目标检测与识别中的深度学习》。Cham：Springer；2019。第133-154页。64. Qian J。人脸识别中的情感分类综述。《物理学杂志：会议系列》。2018；1203：012030。65. Kwon BM、Lee KH。人脸识别方法及其在软件应用中的实现简介。《国际信息技术与管理杂志》。2018；17(1-2)：33-43。66. Choung H、David P、Ling TW。监控场景中对人工智能技术的接受度：信任、安全与隐私认知的作用。