

Sistema de Autenticación por Reconocimiento Facial

José Luis Hernández Hurtado¹, Myron Clarence Molina Bean², Alberto Navarrete Ramirez³,
Marco Antonio Almazán Martínez⁴, Angel Nolasco Serrano⁵

Tecnológico de Monterrey Campus Toluca, Departamento de Computación, División de Ingeniería y Ciencias,
Av. Eduardo Monroy Cárdenas No. 2000, Col. San Antonio Buena Vista, Toluca, Estado de México, C.P. 50110

Email: ¹A01365190@tec.mx, ²A01369053@tec.mx, ³A01422954@tec.mx, ⁴A01769046@tec.mx, ⁵A01365726@tec.mx

Resumen—En este artículo se presenta un sistema de autenticación por medio de reconocimiento facial utilizando Django para el procesamiento de imágenes y técnicas de aprendizaje automático.

El sistema consta de cuatro etapas: la primera de ellas es la adquisición de imágenes de rostros de estudiantes del Tecnológico de Monterrey Campus Toluca, después se realiza la extracción y vectorización de las características del rostro, posteriormente se utiliza dicha extracción y vectorización para utilizar diferentes modelos que se encargarán de la reducción de dimensionalidad(PCA, SVD e ISOmap) con el objetivo de extraer diversas características importantes para la clasificación de los rostros. Finalmente se le da una ponderación a los resultados obtenidos en cada uno de los modelos para posteriormente identificar el rostro en cuestión mediante el puntaje acumulado obtenido en cada modelo.

Este último paso se realiza como propuesta de solución para sistemas de reconocimiento facial ante un conjunto de datos limitado.

Los resultados sugieren que el uso de técnicas de reducción de dimensiones y métricas de similitud adecuadas puede mejorar significativamente el rendimiento de los sistemas de reconocimiento facial. El uso de herramientas como frameworks, en este caso Django, puede simplificar de gran manera la implementación y el despliegue de sistemas avanzados como este, a un entorno de producción. Este sistema elaborado podría llegar a tener un gran potencial de aplicación en distintos sectores, priorizando el de seguridad para el control de acceso y la gestión de identidad en el ámbito laboral.

Index Terms—Principal Component Analysis, Singular Value Decomposition, Isomap, Cosine Similarity, Euclidean Distance, and Manhattan Distance.

I. INTRODUCCIÓN

La inteligencia artificial ha transformado la forma en la que se interactúa con la tecnología, lo cual ha permitido el desarrollo de múltiples aplicaciones que mejoran y aumentan nuestra calidad de vida. Una de las aplicaciones más importantes de la inteligencia artificial en la actualidad, es el reconocimiento facial. El reconocimiento facial es una técnica de identificación biométrica que se utiliza para poder identificar a una persona a través de su rostro. Esto es una tarea importante en muchos campos, desde la seguridad para poder identificar a alguna persona sospechosa, hasta el entrenamiento para mejorar la experiencia del usuario. En este trabajo implementamos un sistema de reconocimiento facial utilizando como frame-

work principal Django y diferentes técnicas de aprendizaje automático, como lo son PCA, SVD e ISOmap, para así lograr identificar y verificar si el rostro de una persona corresponde con alguna dentro de la base de datos.

II. METODOLOGÍA

En esta investigación se tiene como objetivo principal abordar la implementación de un sistema de reconocimiento facial para identificar las fortalezas y debilidades que tiene el sistema debido a los algoritmos implementados. Por lo tanto, el sistema de reconocimiento facial que se desarrolló utiliza diferentes modelos para la reducción de dimensiones, así como la implementación de diferentes métricas de similitud, con la finalidad de conseguir un sistema robusto que permita detectar con una mayor precisión el rostro de una persona, para así determinar si se trata de algún usuario existente o de alguien externo al sistema. El utilizar técnicas de procesamiento de imágenes y algoritmos de aprendizaje automático tiene como finalidad extraer características de los rostros de los usuarios, para compararlos y determinar su similitud, estas comparaciones son de suma importancia para lograr conseguir un sistema de reconocimiento facial robusto, en el cual a través de diversas pruebas se puedan identificar áreas de oportunidad y mejora. Es por ello por lo que los resultados obtenidos en este estudio pueden contribuir al conocimiento sobre los diferentes métodos para poder realizar un reconocimiento facial y determinar cuál de estos es más eficaz y eficiente.

Se realizó una búsqueda acerca de los diferentes estudios y trabajos que abordan temas relacionados con el reconocimiento facial, con la finalidad de identificar diferentes métodos y técnicas para representar la eficiencia de cada uno de estos y elegir cuál de estos es el más eficiente.

Con base en la búsqueda realizada se encontraron diferentes métodos de reducción de dimensiones y métricas de similitud que nos ayudaron a cumplir con el objetivo. Encontramos tres algoritmos de reducción de dimensiones, los cuales utilizamos para reducir la cantidad de información de los rostros de las personas, haciendo que el proceso de reconocimiento sea más

preciso, eliminando la redundancia, el ruido y mejorando la calidad de los rasgos extraídos.

Dichos algoritmos de reducción de dimensiones son el PCA, SVD e ISOmap. Estos algoritmos los utilizamos, como ya se mencionó anteriormente, para reducir la dimensionalidad de las imágenes de entrada y extraer características importantes para la clasificación. A continuación, se explica brevemente cada uno de ellos:

1. El análisis de componentes principales (PCA) es una técnica de reducción de dimensiones que convierte un conjunto de variables correlacionadas en un conjunto de variables no correlacionadas conocidas como componentes principales. Estos componentes principales se clasifican según la varianza que explican, por lo que los primeros componentes principales explican la mayor parte de la variación en los datos iniciales. El PCA es un algoritmo lineal que se basa en la descomposición de valores propios de la matriz de covarianza de los datos iniciales. Es decir, que para obtener los componentes principales, se realiza una combinación lineal de las variables originales, dando como resultado un conjunto de variables no correlacionadas.
2. El algoritmo de Descomposición de Valores Singulares (SVD) es un algoritmo de factorización de matrices, el cual permite descomponer una matriz en tres matrices más pequeñas. Estas matrices son:

- La matriz de valores singulares, la cual contiene información sobre la longitud de la contribución de cada vector a la matriz original.
- La matriz de vectores singulares izquierdos y la matriz de vectores singulares derechos, las cuales contienen la información sobre cómo se relacionan los vectores singulares entre sí.

Teniendo esto en cuenta, el SVD es útil en la reducción de dimensiones debido a que permite elegir un subconjunto de los vectores singulares que representan con mayor precisión los datos originales. Los primeros vectores singulares son los más importantes porque explican la mayor cantidad de variabilidad en los datos originales. Estos vectores singulares se ordenan según su singularidad, lo que significa que los primeros vectores son los más únicos y representativos.

3. ISOmap es un algoritmo de reducción de dimensión no lineal que convierte datos de alta dimensionalidad en datos de baja dimensionalidad mientras conserva la estructura local de los datos originales. La base de ISOmap es la creación de un grafo de vecindad que vincula cada punto de datos con sus vecinos más cercanos. Las distancias geodésicas en este grafo de

vecindad se calculan usando el algoritmo de Dijkstra, lo que permite la creación de un mapa de distancia de baja dimensión mientras se preserva la estructura local de los datos originales. Finalmente, se utiliza un algoritmo de reducción de dimensiones lineal, como PCA, para proyectar los datos en la baja dimensionalidad.

Para la etapa final de comparación de imágenes utilizamos diferentes métricas, las cuales utilizamos para determinar la similitud entre las características ya extraídas de la persona que se tomó la foto para ingresar al sistema con las imágenes que tenemos en la base de datos obteniendo como resultado el reconocimiento facial de la persona. Las métricas que utilizamos para este paso son:

- La similitud de coseno, el cual mide el ángulo entre dos vectores indicando la similitud entre ellos.
- La distancia euclíadiana, la cual mide la distancia directa entre dos puntos.
- La distancia de Manhattan, la cual mide la distancia entre dos puntos tomando en cuenta la suma de las diferencias de coordenadas en cada dimensión.

III. PROCEDIMIENTO

Después de realizar una investigación sobre los diferentes métodos, mencionados anteriormente, el siguiente paso fue desarrollar un sistema que nos permitiera comparar imágenes. Para poder realizar la implementación del sistema, se siguieron las siguientes etapas:

1. Adquisición de Datos.

Se tomaron imágenes de los rostros de los estudiantes del Tecnológico de Monterrey Campus Toluca con el fin de crear una base de datos para entrenar el modelo de reconocimiento facial. Cada estudiante subió cuatro fotos de su rostro, cada una con características diferentes, como cambios en la iluminación o la rotación de sus rostros. Las fotos se almacenaron en un drive, y cada alumno almacenó sus fotos dentro de un archivo con su respectiva matrícula, creando así la base de datos que utilizamos para nuestro sistema.

2. Creación del Front End.

El FrontEnd se desarrolló con HTML, CSS y JavaScript, con la finalidad de crear un sistema amigable ante los usuarios. La finalidad de nuestra interfaz de usuario se centra en realizar una captura del rostro del usuario para poder pre procesar la imagen y realizar la comparación con nuestra base de datos. Finalmente, se muestra en pantalla si se reconoció al usuario, mostrando la imagen con la que mejor se reconoció al usuario y su respectiva matrícula. En caso de que la imagen del usuario no coincida con ninguna en la base de datos, se mostrará un mensaje de error en pantalla de imagen de reconocida.

3. Extracción y Vectorización de Características.

Esta es una de las etapas más importantes, ya que es donde se realiza el procesamiento de las imágenes para poder compararlas. Para realizar esta etapa, se utilizó la librería face_recognition y cv2 para detectar los rostros de las personas en las imágenes. Estas librerías identifican y extraen las características únicas del rostro mediante un detector de rostros preentrenado, identificando características, como la forma de la nariz, los ojos, la boca, etc. Entregando dichas características en un vector de números reales de 128 elementos, en el que cada elemento del vector es una característica específica del rostro de la imagen.

Después de extraer las características de las imágenes, pasamos a reducir la dimensionalidad de estas, con la finalidad de extraer los rasgos más importantes de las imágenes, reducir la redundancia y el ruido de los datos. Para poder cumplir con este paso, se aplicaron los tres algoritmos de reducción, mencionados anteriormente en la metodología.

- El algoritmo PCA, como ya habíamos mencionado, convierte un conjunto de variables correlacionadas en no correlacionadas conocidas como componentes principales. Para poder realizar este proceso, el algoritmo comienza por calcular la matriz de covarianza de los datos de la imagen del rostro. Esto describe cómo están relacionadas las características de las imágenes. Después, calcula los componentes principales, los eigenvectores, los cuales representan las direcciones en la que los datos tienen mayor varianza. Esto quiere decir que contienen la información más relevante. Los eigenvalores representan la cantidad de varianza por cada vector.

Estos cálculos de los componentes principales son el conjunto en el que se ordenan de mayor a menor importancia, obteniendo como resultado el mismo vector que extrajimos de las características de los rostros, pero reducido, es decir, simplifica la complejidad de los datos, reduce la información redundante que pudiera existir obteniendo una representación más clara de los datos.

- El algoritmo SVD trabaja con el vector original, descomponiéndolo en 3 vectores o matrices más pequeñas que representan la información esencial de la imagen. Como mencionamos anteriormente, se divide en el vector de valores singulares, que contienen información más importante de cada componente de la imagen, y en los vectores singulares izquierdos y derechos, que representan los cambios necesarios para transformar la imagen original en un vector más reducido, manteniendo

los componentes más importantes y descartando los menos importantes.

- El algoritmo ISOmap, al igual que los demás algoritmos, permite reducir la complejidad de los datos manteniendo la información más importante, pero este algoritmo trabaja tomando en cuenta la estructura de los datos vecinos. Por tanto, este algoritmo construye un grafo en el que cada imagen facial se representa como un nodo, conectando las n imágenes más cercanas mediante aristas, después el algoritmo encuentra una representación del grafo con un espacio de menor dimensión cumpliendo con su objetivo de reducir la complejidad de los datos.

Una vez que se hace el preprocesamiento de las imágenes, se guardan los vectores reducidos en un archivo CSV para después poder utilizar esos datos y comparar las imágenes. Cada uno de estos algoritmos funcionan de manera diferente, por lo que la precisión de cada uno cambia, esto lo veremos más adelante en la sección de resultados.

4. Clasificación.

Esta es la última etapa, la cual realiza la comparación de la imagen del rostro del usuario, ya pre procesada, con las de la base de datos por medio de diferentes métricas.

- La similitud de coseno, el cual mide el ángulo entre dos vectores indicando la similitud entre ellos. Por tanto, para calcular esta medida, primero se calcula el producto punto de los dos vectores a comparar. Luego, se divide este producto punto por el producto de las magnitudes de los dos vectores. A continuación, se representa la fórmula:

$$\cos(\theta) = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{\|\vec{A}\| \cdot \|\vec{B}\|} \quad (1)$$

Donde A y B son los dos vectores que se comparan y theta es el ángulo entre los dos vectores.

- La distancia euclídea, la cual mide la distancia directa entre dos puntos. Esto se realiza calculando la raíz cuadrada de la suma de las diferencias al cuadrado entre los valores de cada elemento de los vectores a comparar. A continuación, se representa la fórmula:

$$d(\vec{A}, \vec{B}) = \sqrt{(A_1 - B_1)^2 + (A_2 - B_2)^2 + \dots + (A_n - B_n)^2} \quad (2)$$

Donde A1, A2, ..., An y B1, B2, ..., Bn son los valores de los elementos de los vectores A y B.

- La distancia de Manhattan, la cual mide la distancia entre dos puntos tomando en cuenta la suma de las diferencias de coordenadas en cada dimensión, se calcula mediante la suma de las diferencias absolutas entre los valores de cada elemento de los vectores a comparar. A continuación, se representa la fórmula:

$$d(\vec{A}, \vec{B}) = \sum_{i=1}^n |A_i - B_i|$$

Donde A_1, A_2, \dots, A_n y B_1, B_2, \dots, B_n son los valores de los elementos de los vectores A y B.

Estas métricas funcionan arrojando un número con base en la distancia o la similitud, por tanto, si el número es cercano a 1, esto indica que los dos vectores son muy similares, en caso contrario, si el número se acerca a -1, esto indica que los vectores son diferentes.

IV. RESULTADOS

Realizamos diferentes experimentos para evaluar el rendimiento de cada uno de los métodos de reducción de dimensiones y métricas de similitud descritos anteriormente. Los resultados obtenidos a partir de los métodos de reducción arrojan las características particulares de las imágenes en formato vectorial para luego pasar a las métricas de similitud y confirmar la nominación de una matrícula en particular como posible selección por mayor similitud al ser comparada con la foto provista inicialmente en el sistema de autenticación.

Cabe denotar que aunque el sistema es robusto, sí hay ocasiones donde da falsos positivos debido al tamaño de la muestra, que en este caso, es pequeña. Es decir, que las caras muestra contra la cara provista en la autenticación no coinciden con la persona. Sin embargo, es muy probable que esta incertidumbre se pueda mitigar con un preprocesamiento de datos más riguroso. Por ejemplo, con la incorporación de un sensor de profundidad para hacer un modelado tridimensional de la cara y así obtener más datos acerca de sus características más prominentes o distintivas, o una prueba de parpadeo para autenticar más eficazmente a la persona, ya que finalmente esto provee más datos al modelo.

Como propuesta de solución ante un conjunto de datos pequeño, se plantea la ponderación de los resultados obtenidos con cada uno de los métodos de reducción de dimensionalidad para posteriormente asignar dicha ponderación a cada uno de los rostros identificados con las diferentes técnicas de análisis de similitud para así obtener un puntaje acumulativo entre todos los modelos, donde el puntaje más alto representa el rostro identificado.

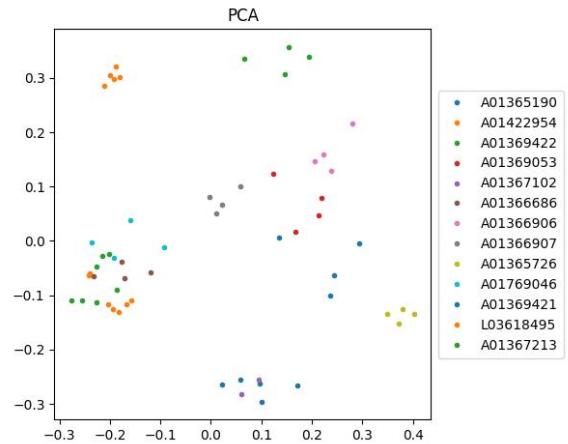


Figura 1. Gráfica de la Reducción de Dimensiones en las Imágenes de la base de datos con el Algoritmo PCA.

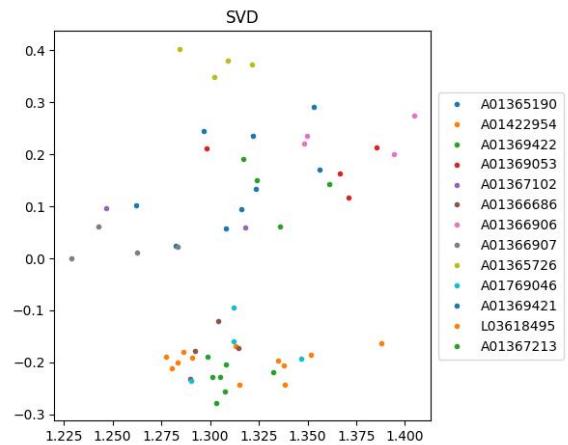


Figura 2. Gráfica de la Reducción de Dimensiones en las Imágenes de la base de datos con el Algoritmo SVD.

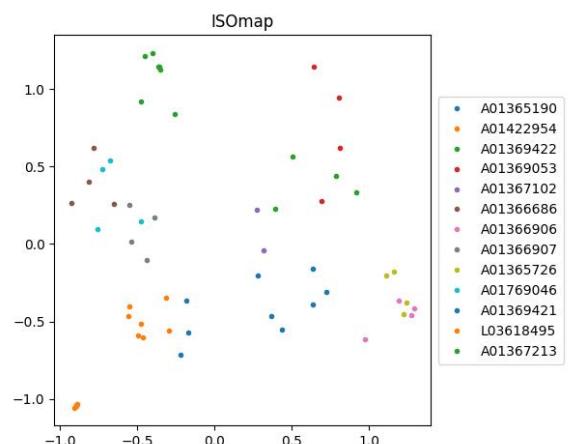


Figura 3. Gráfica de la Reducción de Dimensiones en las Imágenes de la base de datos con el Algoritmo ISOMap.

Cuando se accede al sistema de reconocimiento facial, se puede observar que se despliega un recuadro para tomar la fotografía e ingresar la matrícula del usuario, una vez que la fotografía es tomada, se procede a dar click en el botón de continuar.

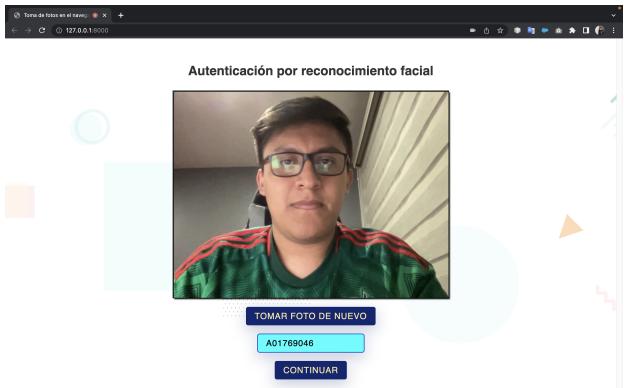


Figura 4. Sistema de Autenticación.

A partir de lo anterior, el sistema de reconocimiento facial obtiene los datos necesarios para trabajar y determinar si el usuario puede acceder al sistema. En caso de que la autenticación sea exitosa, se redirige al usuario al sistema, en caso contrario se muestra un error.

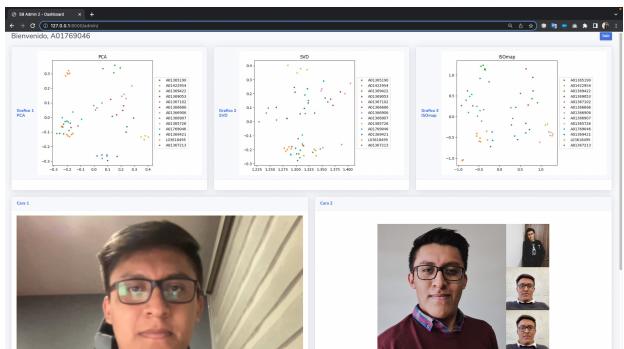


Figura 5. Autenticación Exitosa.

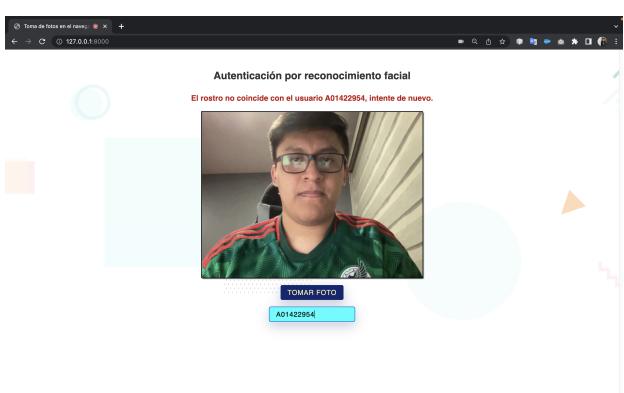


Figura 6. Autenticación Fallida.

El sistema de reconocimiento facial construido está disponible para su descarga, uso y prueba del mismo, este se encuentra en el siguiente repositorio de Github <https://github.com/ANVRRT/FacialDetection>

V. CONCLUSIONES

El sistema de autenticación por reconocimiento facial utilizando diferentes métodos y técnicas de análisis de datos, presentado en este artículo demostró ser capaz de identificar y verificar si la imagen de la cara de una persona corresponde con alguna dentro de la base de datos. Se comprobó la capacidad y funcionalidad de cada uno de los métodos utilizados, dando como resultado el reconocimiento facial de una persona. Los resultados obtenidos sugieren que el uso de técnicas de reducción de dimensiones y métricas de similitud adecuadas puede mejorar el rendimiento de un sistema de reconocimiento facial.

Aunque se ha realizado un gran trabajo en el desarrollo del sistema y la implementación de las diferentes técnicas, en la actualidad existen diferentes formas de mejorar el reconocimiento facial. Por ejemplo, se puede considerar, al momento de recolectar la información de la cara de las personas, recolectar las características faciales, pero del perfil de la persona, capturar los patrones del iris y la retina del ojo, mejorar la calidad de la imagen utilizada, entre otras. También, es importante destacar que este tipo de tecnología tiene un gran potencial dentro de diversos sectores, desde la seguridad hasta el entretenimiento, gracias a la seguridad que puede ofrecer esta tecnología y a la comodidad que le puede brindar al usuario. Por lo tanto, es fundamental seguir explorando nuevas formas de mejorar esta tecnología para poder aprovechar su potencial y lograr un reconocimiento facial más preciso y confiable.

REFERENCIAS

- [1] J. Chen and W. K. Jenkins, "Facial recognition with PCA and machine learning methods," *2017 IEEE 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, Boston, MA, USA, 2017, pp. 973-976, doi: 10.1109/MWSCAS.2017.8053088.
- [2] R. Kaur and E. Himanshi, "Face recognition using Principal Component Analysis," *2015 IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*, Bangalore, India, 2015, pp. 585-589, doi: 10.1109/IADCC.2015.7154774.
- [3] Tat-Jun Chin, K. Schindler and D. Suter, "Incremental kernel SVD for face recognition with image sets," *7th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FGR06)*, Southampton, UK, 2006, pp. 461-466, doi: 10.1109/FGR.2006.67.
- [4] Kaur, M. Vashisht, R. Neeru, N. Recognition of Facial Expressions with Principal Component Analysis and Singular Value Decomposition," *2010 International Journal of Computer Applications ResearchGate*
- [5] Li, R.-F., Hao, H.-W., Tu, X.-Y. and Wang, C., "Face recognition using KFD-Isomap," *2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Guangzhou, China, 2005, pp. 4544-4548 Vol. 7, doi: 10.1109/ICMLC.2005.1527739.
- [6] Yang, M.-H., "Face recognition using extended isomap," *Proceedings. International Conference on Image Processing*, Rochester, NY, USA, 2002, pp. II-II, doi: 10.1109/ICIP.2002.1039901.
- [7] Maharani, D.A., Machbub, C., Rusmin, P.H. and Yulianti, L., "Improving the Capability of Real-Time Face Masked Recognition using Cosine Distance," *2020 6th International Conference on Interactive Digital Media (ICIDM)*, Bandung, Indonesia, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICIDM51048.2020.9339677.

- [8] Saha, S., Ghosh, M., Ghosh, S., Sen, S., Singh, P.K., Geem, Z.W. and Sarkar, R., "Feature Selection for Facial Emotion Recognition Using Cosine Similarity-Based Harmony Search Algorithm,"*Appl. Sci.*, 2020, 10, 2816, doi: 10.3390/app10082816.
- [9] Hazim, N., Esam, W., Mahmood, S., Sahib, M., "Face Detection and Recognition Using Viola-Jones with PCA-LDA and Square Euclidean Distance,"*Appl. Sci.*, 2016.
- [10] Malkauthekar, M. D., Analysis of euclidean distance and Manhattan Distance measure in face recognition,"*Third International Conference on Computational Intelligence and Information Technology (CIIT 2013)*, Mumbai, 2013, pp. 503-507, doi: 10.1049/cp.2013.2636.
- [11] Greche, L., Jazouli, M., Es-Sbai, N., Majda, A. and Zaghili, A., Comparison between Euclidean and Manhattan distance measure for facial expressions classification,"*2017 International Conference on Wireless Technologies, Embedded and Intelligent Systems (WITS)*, Fez, Morocco, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/WITS.2017.7934618.