

Reconocimiento de rostros mediante descomposición en valores singulares (SVD)

Gonzalo Bordón
Emanuel Nicolás Herrador

Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación
Universidad Nacional de Córdoba

14 de Noviembre de 2025



Índice

1 Introducción

- Reconocimiento facial
- Objetivos

2 Algoritmo

- Preprocesamiento
- Reconocimiento facial

3 Resultados

- Datasets
- Rendimiento
- Análisis de resultados

4 Conclusiones y posibles mejoras

- Conclusiones
- Mejoras posibles

Reconocimiento facial

Definición

Identificación o verificación de la identidad de una persona a partir de una imagen digital de su rostro.

Reconocimiento facial

Definición

Identificación o verificación de la identidad de una persona a partir de una imagen digital de su rostro.

- Una de las áreas más activas en el campo de visión por computadora e inteligencia artificial
- Aplicaciones en seguridad, control de acceso, interacción humano-computadora, sistemas biométricos, entre otros.
- Desafíos: variaciones en iluminación, pose, expresión facial, edad y accesorios (gafas, gorros).

Objetivos

- ① Implementación del módulo de preprocesamiento de imágenes para estandarizarlas y comprimir las.
- ② Implementación del algoritmo completo de reconocimiento facial basado en SVD.
- ③ Evaluación del rendimiento del sistema en datasets reales, incluyendo análisis de precisión y exactitud, como matrices de confusión.
- ④ Análisis de las propiedades de los espacios faciales generados, incluyendo el estudio de los valores singulares y su relación con la capacidad de compresión y reconstrucción de las imágenes

Índice

1 Introducción

- Reconocimiento facial
- Objetivos

2 Algoritmo

- Preprocesamiento
- Reconocimiento facial

3 Resultados

- Datasets
- Rendimiento
- Análisis de resultados

4 Conclusiones y posibles mejoras

- Conclusiones
- Mejoras posibles

Preprocesamiento de imágenes

Pasos del preprocesamiento a realizar:

- **Conversión** a escala de grises.
- **Redimensionamiento** a 100×100 pixeles.
- **Compresión** usando SVD con $k = 40$ valores singulares.
- **Normalización** al rango $[0, 1]$.
- **Vectorización** a 10000 dimensiones.

Preprocesamiento de imágenes

- **Compresión** usando SVD con $k = 40$ valores singulares.

Funcionamiento

Dada una imagen $I \in \mathbb{R}^{m \times n}$, sea $I = U\Sigma V^T$ su descomposición SVD, entonces la imagen comprimida se reconstruye usando solo los primeros k valores singulares:

$$\tilde{I} = \sum_{i=1}^k \sigma_i u_i v_i^T$$

Preprocesamiento de imágenes

- **Compresión** usando SVD con $k = 40$ valores singulares.

Funcionamiento

Dada una imagen $I \in \mathbb{R}^{m \times n}$, sea $I = U\Sigma V^T$ su descomposición SVD, entonces la imagen comprimida se reconstruye usando solo los primeros k valores singulares:

$$\tilde{I} = \sum_{i=1}^k \sigma_i u_i v_i^T$$

Ventajas

- Espacio de almacenamiento: $m \times n$ a $k \cdot (m + n + 1)$
- Estructura y formas principales se mantienen dado que los últimos valores singulares capturan principalmente ruido

Comparación: Original vs Preprocesada



Figura: Izquierda: Imagen original. Derecha: Imagen preprocesada.

Comparación: Original vs Preprocesada

PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)

Métrica que cuantifica la calidad de la imagen comprimida en comparación con la original. Se define como:

$$\text{PSNR} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\text{MAX}_I^2}{\text{MSE}} \right)$$

donde MAX_I es el valor máximo posible de un píxel (255 para imágenes de 8 bits) y MSE es el error cuadrático medio entre la imagen original y la comprimida.

- > 30 dB: Calidad aceptable, diferencias apenas perceptibles.
- > 40 dB: Alta calidad, diferencias casi indistinguibles.
- < 20 dB: Baja calidad, diferencias notables.

Comparación: Original vs Preprocesada

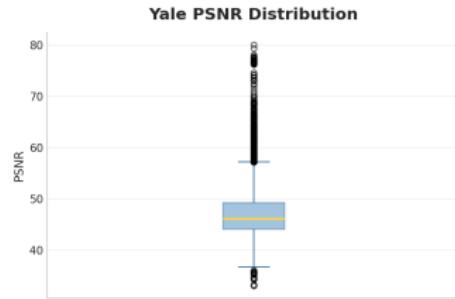
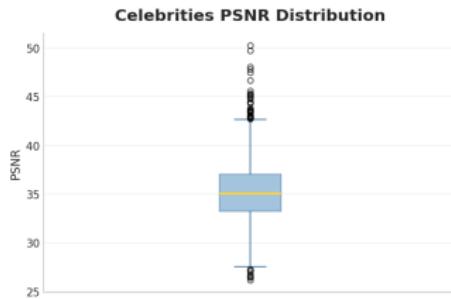


Figura: Izquierda: PSNR en dataset Celebrities. Derecha: PSNR en dataset Yale.

Reconocimiento facial mediante SVD

Los pasos del algoritmo de reconocimiento facial son:

- ① **Conjunto de entrenamiento:** $S = [f_1 \ f_2 \ \dots \ f_N]$ donde cada f_i es una imagen vectorizada preprocesada.

Reconocimiento facial mediante SVD

Los pasos del algoritmo de reconocimiento facial son:

- ① **Conjunto de entrenamiento:** $S = [f_1 \ f_2 \ \dots \ f_N]$ donde cada f_i es una imagen vectorizada preprocesada.
- ② **Cálculo de la media facial:**

$$\bar{f} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i$$

Reconocimiento facial mediante SVD

Los pasos del algoritmo de reconocimiento facial son:

- ① **Conjunto de entrenamiento:** $S = [f_1 \ f_2 \ \dots \ f_N]$ donde cada f_i es una imagen vectorizada preprocesada.
- ② **Cálculo de la media facial:**

$$\bar{f} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i$$

- ③ **Matriz de diferencias:** $A = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_N]$ donde $a_i = f_i - \bar{f}$

Reconocimiento facial mediante SVD

Los pasos del algoritmo de reconocimiento facial son:

- ① **Conjunto de entrenamiento:** $S = [f_1 \ f_2 \ \dots \ f_N]$ donde cada f_i es una imagen vectorizada preprocesada.
- ② **Cálculo de la media facial:**

$$\bar{f} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i$$

- ③ **Matriz de diferencias:** $A = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_N]$ donde $a_i = f_i - \bar{f}$
- ④ **Descomposición SVD** de A :

$$A = U\Sigma V^T$$

donde las columnas de U son los **eigenfaces**.

Reconocimiento facial mediante SVD

- ⑤ **Coordenadas faciales:** proyección de imágenes de entrenamiento en el espacio de eigenfaces.

$$\forall i \in [1, N], \quad x_i = U^T(f_i - \bar{f})$$

Reconocimiento facial mediante SVD

- ⑤ **Coordenadas faciales:** proyección de imágenes de entrenamiento en el espacio de eigenfaces.

$$\forall i \in [1, N], \quad x_i = U^T(f_i - \bar{f})$$

- ⑥ **Selección de umbrales:**

- **Umbral de reconocimiento facial** ε_1 : distancia máxima para considerar que una imagen es un rostro.
- **Umbral de identificación facial** ε_0 : distancia máxima para considerar que una imagen pertenece a una persona conocida.

Reconocimiento facial mediante SVD

- ⑤ **Coordenadas faciales:** proyección de imágenes de entrenamiento en el espacio de eigenfaces.

$$\forall i \in [1, N], \quad x_i = U^T(f_i - \bar{f})$$

- ⑥ **Selección de umbrales:**

- **Umbral de reconocimiento facial** ε_1 : distancia máxima para considerar que una imagen es un rostro.
- **Umbral de identificación facial** ε_0 : distancia máxima para considerar que una imagen pertenece a una persona conocida.

- ⑦ **Clasificación** de una imagen de prueba f : según distancia euclídea en el espacio de eigenfaces con las coordenadas faciales (x_i) y los umbrales.

Diagrama de decisión

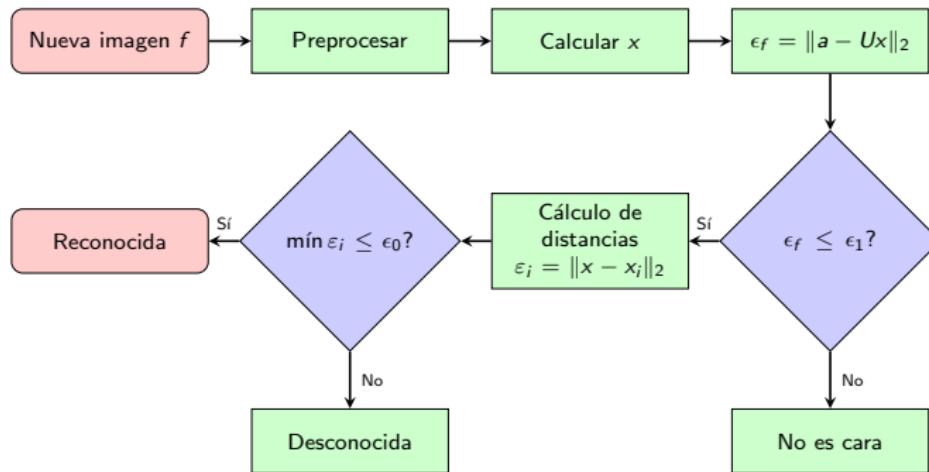


Figura: Diagrama de flujo del algoritmo de reconocimiento facial

Índice

1 Introducción

- Reconocimiento facial
- Objetivos

2 Algoritmo

- Preprocesamiento
- Reconocimiento facial

3 Resultados

- Datasets
- Rendimiento
- Análisis de resultados

4 Conclusiones y posibles mejoras

- Conclusiones
- Mejoras posibles

Datasets utilizados

Dataset de Celebridades

- 17 individuos
- ~100 imágenes/persona
- Condiciones variables



Figura: Imagen representativa

Yale Face Database

- 28 personas
- 584 imágenes/persona
- Condiciones controladas

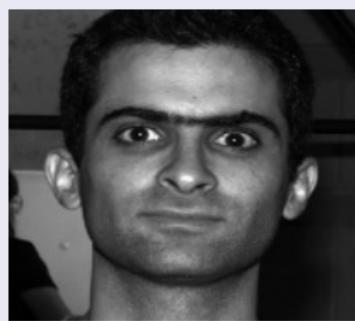


Figura: Imagen representativa

Rendimiento del sistema

Métrica	Celebridades	Yale
Condiciones	Variables	Controladas
Imágenes/persona	~100	584
Exactitud	0,15 %	82,42 %
Precisión por persona	0 % - 29 %	> 59 %
F1-Score	-	> 60 %
Top-2 accuracy	27,9 %	88,6 %
Top-3 accuracy	35 %	91,2 %

Rendimiento del sistema

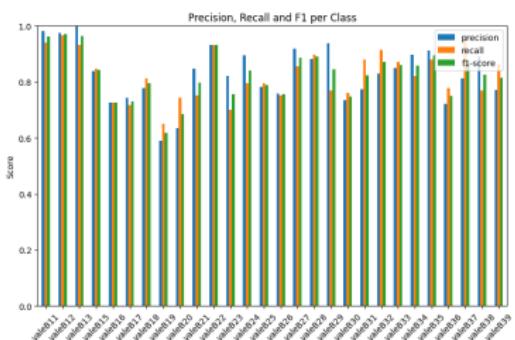
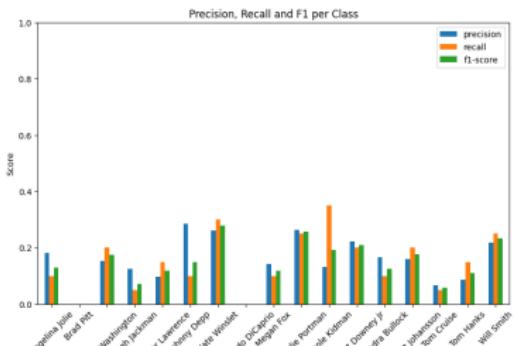


Figura: Arriba: Celebrities. Abajo: Yale.

Análisis de resultados

Dataset de Celebridades (0,15 %)

- **Pocas imágenes por persona** (~ 100 vs. 584)
- **Condiciones no controladas:** iluminación, pose, expresión variables
- **Falta de alineación facial** adecuada
- **Variabilidad alta** entre imágenes de la misma persona

Yale Face Database (82,42 %)

- **Más imágenes por persona** (584) → espacio facial más robusto
- **Condiciones controladas:** iluminación y pose consistentes
- **Mejor alineación facial**
- **Preprocesamiento uniforme**

Índice

1 Introducción

- Reconocimiento facial
- Objetivos

2 Algoritmo

- Preprocesamiento
- Reconocimiento facial

3 Resultados

- Datasets
- Rendimiento
- Análisis de resultados

4 Conclusiones y posibles mejoras

- Conclusiones
- Mejoras posibles

Conclusiones Principales

Resultado Clave

El método SVD es **viable para reconocimiento facial** cuando se cuenta con:

- Suficientes imágenes por persona
- Condiciones de captura controladas
- Buen preprocesamiento y alineación

Factor Determinante

La **calidad y cantidad de datos de entrenamiento** son factores críticos para el éxito del método.

Mejoras Posibles

- **Preprocesamiento mejorado:** Ecualización de histograma adaptativa, normalización de iluminación, alineación facial precisa basada en puntos clave.
- **Selección adaptativa de umbrales:** Métodos automáticos basados en distribución de distancias (percentiles, análisis estadístico).
- **Reducción de dimensionalidad selectiva:** Usar solo los primeros k valores singulares más importantes.
- **Aumento de datos:** Generar variaciones sintéticas (rotaciones, cambios de iluminación) para robustecer el espacio facial.