

# **КОМП'ЮТЕРНА ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ**

**Digital Image Processing - DIP**

# ПОРІВНЯННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

1. Завдання порівняння зображень
2. Виміри подібності
3. Алгоритм ковзного вікна
4. Хеш зображення

# ПОРІВНЯННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Загальне завдання виділення (знаходження, детектування) об'єктів на зображенні - визначення наявності або відсутності об'єкта певного домену (виду) на зображенні, знаходження кордонів цього об'єкта в системі координат пікселів вихідного зображення.

**Найпростіший варіант** → Завдання порівняння: зіставити два (або більше) зображення (або їх фрагментів) на предмет подібності.



**? Що є подібність  
зображень?**



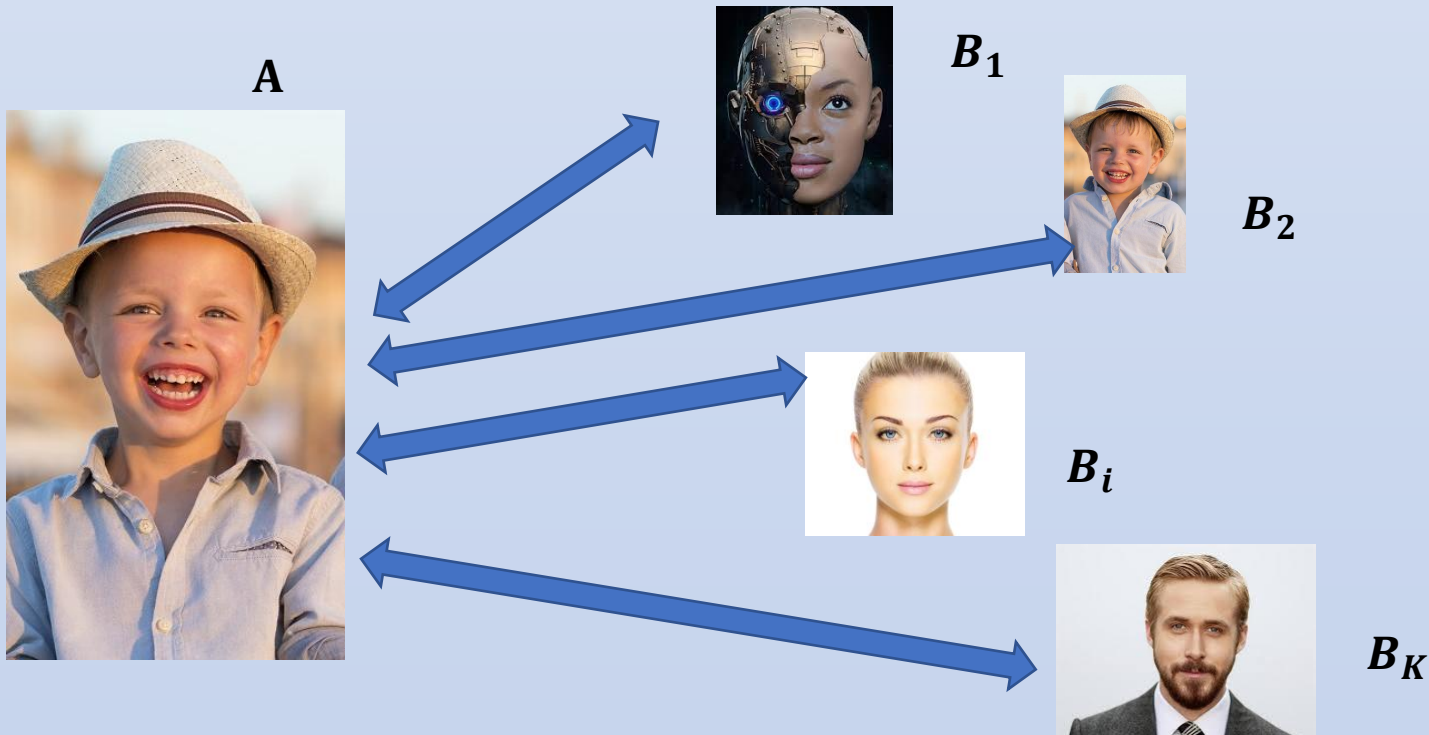
# ПОРІВНЯННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Завдання :

Візначені цифрові  $A, B_1, B_2, \dots, B_K$  зображення.

Допустимо, що їх розміри  $N \times M$  пікселів однакові і однаковий діапазон припустимих значень яскравості  $I$ .

Необхідно знайти таке  $B_i$ , яке **більше(?)** інших **схоже(?)** на зображення  $A$ .



# ПОРІВНЯННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Загальні підходи до порівняння:

- Суб'єктивні оцінки (людське сприйняття, експертні оцінки)
- Математичні методи, які спираються деякі моделі зору людини
- Об'єктивні методи, побудовані на теоретичних моделях.

Методи порівняння, з урахуванням бази порівняння, поділяються на

- Рівень пікселів,
- Точки інтересу ,
- Сегменти та (або) криві.

# МІРА ПОДІБНОСТІ

Критерій подібності двох зображень  $A, B$  – міра (вимір) подібності  $M(A, B)$  .

Властивості метричності :

- $A = B \Rightarrow M(A, B) = 1 \rightarrow$  **повністю співпадають**
- $M(A, B) = M(B, A)$
- $M(A, B) \leq M(A, C) + M(C, A)$

Властивість нормалізованості :

$$a_{i,j} = 0 \ \& \ b_{i,j} = I, \forall(i, j) \Rightarrow M(A, B) = 0$$

**повністю НЕ співпадають**

Стійкість до шумів у зображеннях.

Стійкість до невеликих змін об'єктів на зображеннях (малі усунення, зрушення і т.д.).

Малий час обчислення міри.

Тут  $a_{i,j}, b_{i,j}$  - інтенсивність  $i, j$  пікселя зображень  $A, B$  відповідно.

# МІРА ПОДІБНОСТІ

Сума квадратів різниць

$$R^{SSD} = 1 - \frac{1}{INM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{n-1} (a_{i,j} - b_{i,j})^2$$

Зважена сума квадратів різниць

$$R^{\overline{SSD}} = 1 - \frac{1}{I} \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{n-1} (a_{i,j} - b_{i,j})^2}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{n-1} (a_{i,j})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{n-1} (b_{i,j})^2}}$$

Середньоквадратична похибка

$$R^e = 1 - \frac{1}{INM} \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (a_{i,j} - b_{i,j})^2}$$

# МІРА ПОДІБНОСТІ

## Нормована функція кореляції

$$R^{COR} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} a_{i,j} b_{i,j}}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} a_{i,j}^2} \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} b_{i,j}^2}}$$

## Нормована усереднена функція кореляції

$$R^{\overline{COR}} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (a_{i,j} - \overline{a_{i,j}}) (b_{i,j} - \overline{b_{i,j}})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (a_{i,j} - \overline{a_{i,j}})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (b_{i,j} - \overline{b_{i,j}})^2}}$$



# МІРА ПОДІБНОСТІ

## Минимаксная функция

$$R^{SM} = \min_{\forall i,j} \frac{\min_{\forall i,j} (a_{i,j}, b_{i,j})}{\max_{\forall i,j} (a_{i,j}, b_{i,j})}$$

## Мультипликативная минимаксная функция

$$R^M = \prod_{i=0}^{N-1} \prod_{j=0}^{M-1} \frac{\min_{\forall i,j} (a_{i,j}, b_{i,j})}{\max_{\forall i,j} (a_{i,j}, b_{i,j})}$$

## Аддитивная минимаксная функция

$$R^S = \frac{1}{NM} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M \frac{\min_{\forall i,j} (a_{i,j}, b_{i,j})}{\max_{\forall i,j} (a_{i,j}, b_{i,j})}$$

# МІРА ПОДІБНОСТІ

## Метрика Хаусдорфа

$$R^H = 1 - \frac{1}{I} \max_{i,j} |a_{i,j} - b_{i,j}|, \forall(i,j)$$

## «Манхетенська» метрика (метрика Мінковського)

$$R^C = 1 - \frac{1}{INM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} |a_{i,j} - b_{i,j}|$$

## Усереднена метрика Мінковського

$$R^{\bar{C}} = 1 - \frac{1}{INM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} |a_{i,j} - b_{i,j} - \overline{a_{i,j}} + \overline{b_{i,j}}|$$

# МІРИ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

## Peak signal-to-noise ratio (PSNR)

Пікове співвідношення сигналу до шуму. Використовується для визначення рівня спотворення зображень при їх перетворенні (стисненні). Вимірюється в децибелах.

Визначається через середньоквадратичне відхилення (MSE)

$$MSE = \frac{1}{NM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} |a_{i,j} - b_{i,j}|^2$$

$$\begin{aligned} PSNR &= 20 * \log_{10} \left( \frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \\ &= 20 * \log_{10}(MAX_I) - 10 \log_{10}(MSE) \end{aligned}$$

$MAX_I$  — максимальне значення яскравості  $2^{bit/pixel} - 1$

# МІРИ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

## Structural similarity index measure (SSIM)

Заснована на сприйнятті відмінностей **структурної інформації**, включаючи такі явища як маскування яскравості і маскування контрасту. Головна відмінність від інших методів (MSE, PSNR), полягає в тому, що ці підходи оцінюють абсолютні похибки. Структурна інформація → пікселі мають сильні взаємозалежності, особливо коли вони просторово близькі. Ці залежності несуть важливу інформацію про структуру об'єктів у візуальній сцені.

Маскування яскравості — явище, при якому спотворення зображення мають тенденцію бути менш помітними в яскравих областях.

Контрастне маскування — явище, при якому спотворення стають менш помітними там, де є значна активність або «текстура» зображення.

# МІРИ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

## Structural similarity index measure (SSIM)

SSIM оцінює якість зображення на основі трьох ключових компонентів:

1. Яскравість: порівнює яскравість зображень  $l(a,b)$ .
2. Контраст: оцінює діапазон яскравості  $c(a,b)$ .
3. Структура: оцінює закономірності та взаємозалежності між пікселями, коли вони просторово близькі  $s(a,b)$ .

$$SSIM(a, b) = l(a, b)^\alpha + c(a, b)^\delta + s(a, b)^\gamma$$

$$l(a, b) = \frac{2\mu_a\mu_b + c_1}{\mu_a^2 + \mu_b^2 + c_1}$$

$$c(a, b) = \frac{2\sigma_a\sigma_b + c_2}{\sigma_a^2 + \sigma_b^2 + c_2}$$

$$s(a, b) = \frac{\sigma_{ab} + c_3}{\sigma_a \sigma_b + c_3}$$

$\mu_a$  - середнє по зображенню А

$\mu_b$  - середнє по зображенню В

$\sigma_a^2$  - дисперсія по зображенню А

$\sigma_b^2$  - дисперсія по зображенню В

$\sigma_{ab}$  - коваріація зображень А,В

# МІРИ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

## Structural similarity index measure (SSIM)

SSIM спрощено (враховуючи  $c_3 = 0.5 c_2$  та  $\delta=\gamma$ )

$$SSIM(a, b) = \frac{(2\mu_a\mu_b + c_1)(2\sigma_{ab} + c_2)}{(\mu_a^2 + \mu_b^2 + c_1)(\sigma_a^2 + \sigma_b^2 + c_2)}$$

$$c_1 = (k_1 L)^2, \quad c_2 = (k_2 L)^2,$$

змінні, де  $L$  динамічний діапазон пікселів  $2^{bit/pixel} - 1$

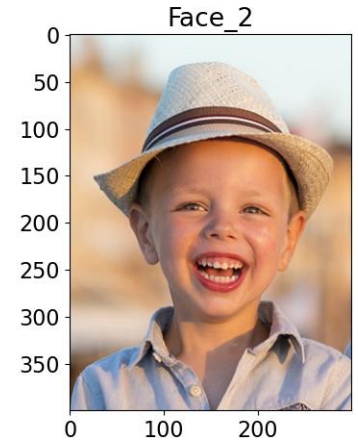
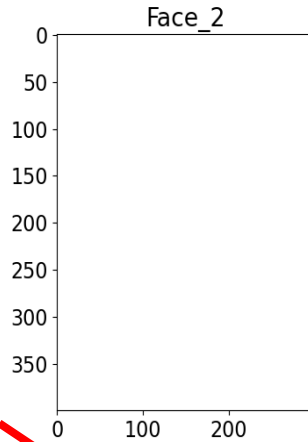
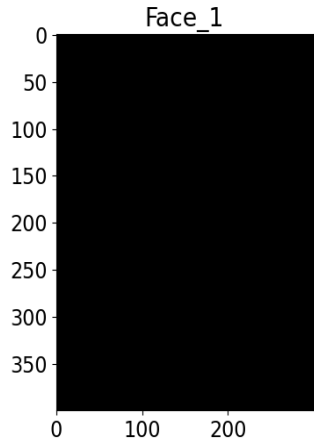
$k_1 = 0.01, k_2 = 0.03$  – константи.

Застосовується лише для яскравості зображень, за якою відбувається оцінка якості.

SSIM лежить у межах від -1 до +1.

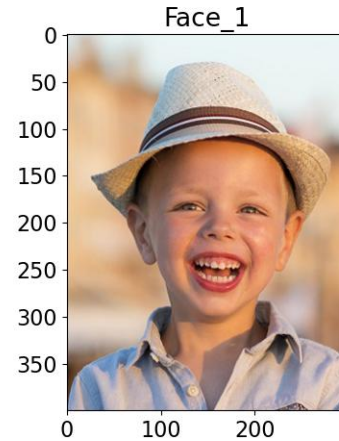
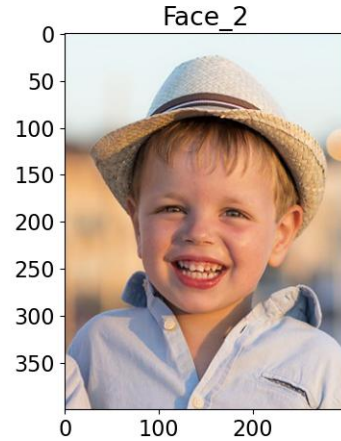
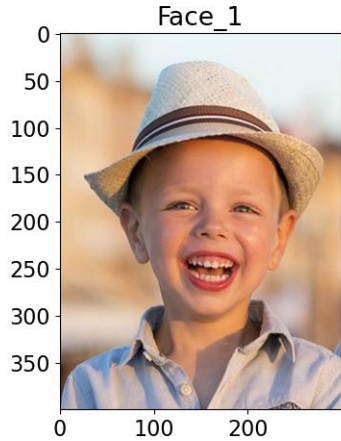
Значення +1 досягається лише за повної автентичності зразків.

# МІРА ПОДІБНОСТІ



Мера	Тест 1	Тест 2
COR	0.0	1.0
SSD	0.0	1.0
ERROR	0.0	1.0
MINK	0.0	1.0
HAUSDORF	0.0	1.0

# МІРА ПОДІБНОСТІ



Мера	Тест 3	Тест 4
COR	0.960	0.940
SSD	0.961	0.902
ERROR	0.999	0.999
MINK	0.861	0.738
HAUSDORF	0.022	0.009



# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

## ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ

**Завдання. Задані**

**Еталонне зображення  $A$ , розміром  $N_A \times M_A$  пікселів**

**Оброблюване зображення  $B$ , розміром**

**$N_B \times M_B$ , причому  $N_A < N_B$  и  $M_A < M_B$ . Діапазон  
яскравостей  $I$  збігається.**

**Визначити: а) чи є фрагмент на зображенні; б) якщо є, то де.**

**Підхід ковзного вікна.**

**Еталон порівнюється з усіма об'єктами на оброблюваному  
зображенні шляхом послідовного переміщення зображення.**

**Наприклад ліворуч-направо - зверху вниз. У цьому  
обчислюється міра подібності.**

# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

## ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ. АЛГОРИТМ

1. Виділяється фрагмент зображення відповідно до розміру зразка, починаючи з правого верхнього кута.
2. Обчислюється міра подібності зразка та виділеного фрагмента.
3. Отримане значення порівнюється з граничною величиною  $T$ . Приймається рішення про відповідність фрагмента еталону.
4. Зсув на  $\Delta_i, \Delta_j$  та виділення нового фрагмента. Якщо не всі фрагменти вичерпані то до 2, інакше – вихід.

Вибір  $T, \Delta_i, \Delta_j$  залежить від завдання, що вирішується

- якщо визначити наявність еталона,

то  $\Delta_i = N_A, \Delta_j = M_A$ .

- якщо знайти положення, то  $\Delta_i = 1, \Delta_j = 1$ .

# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

## ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ. ПРИКЛАД



# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

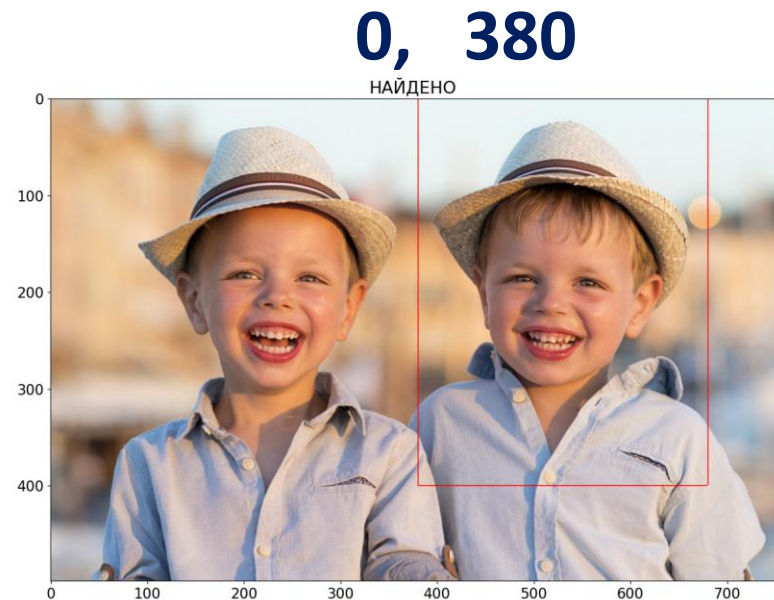
## ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ. ПРИКЛАД 1.1



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
HAUSDORF	0.2305		

# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

## ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ. ПРИКЛАД 1.2

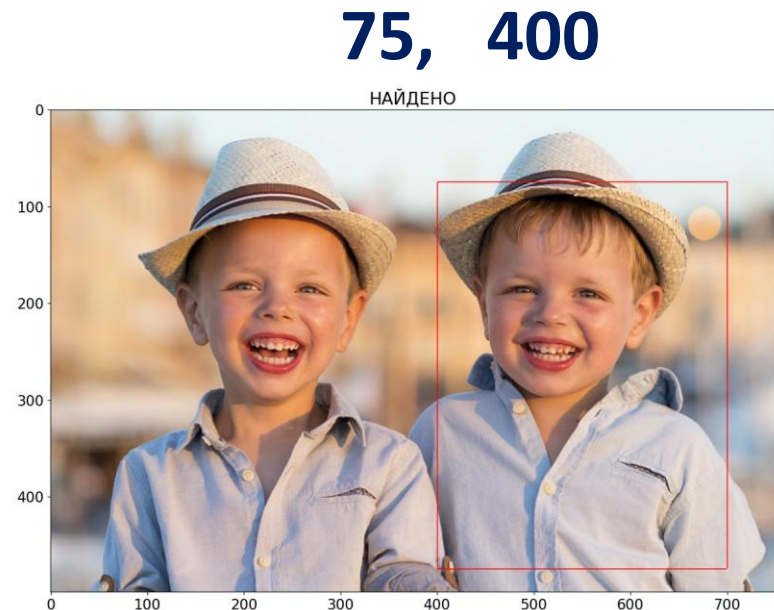
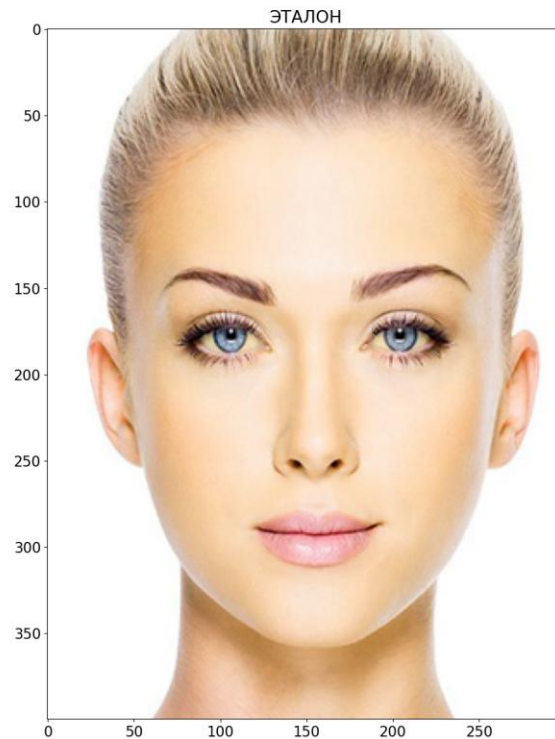


Мера	Face 1	Face 2	Face 3
HAUSDORF	0.2305	0.2085	



# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

## ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ. ПРИКЛАД 1.3



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
HAUSDORF	0.2305	0.2085	0.0870

# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

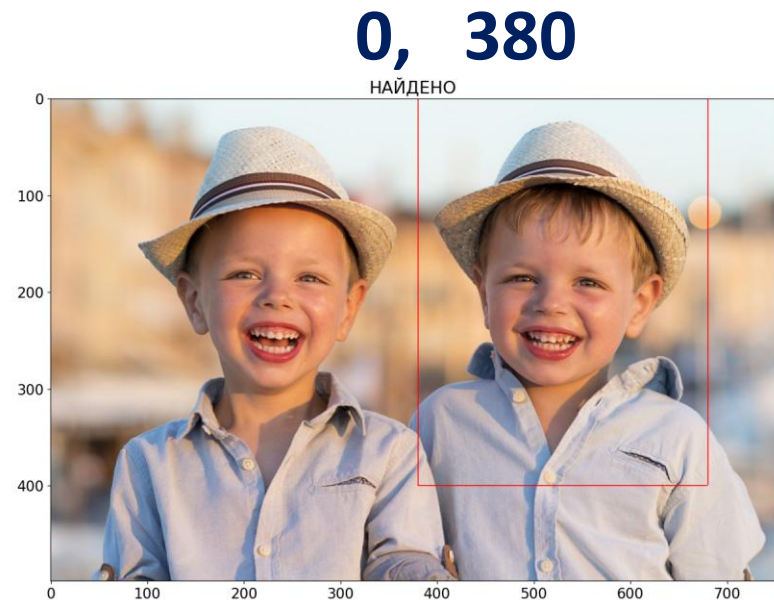
## ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ. ПРИКЛАД 2.1



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Минковский	0.9296		

# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

## ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ. ПРИКЛАД 2.2

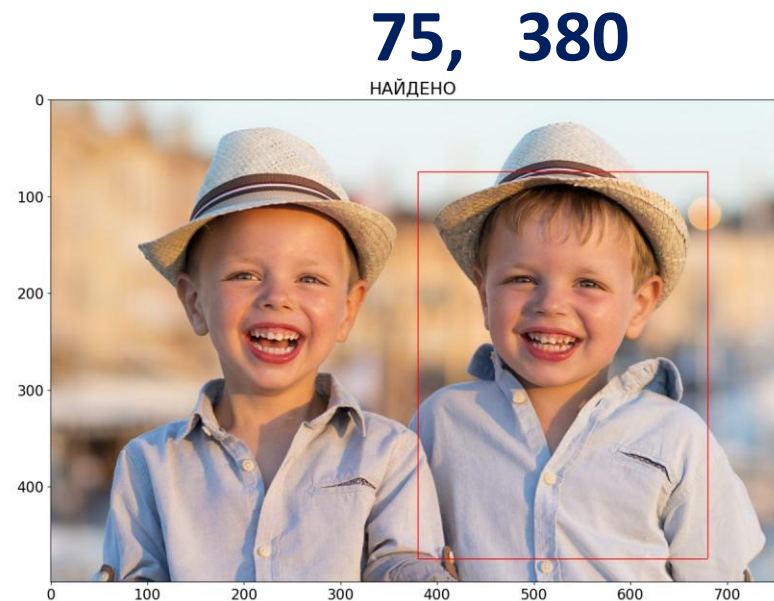
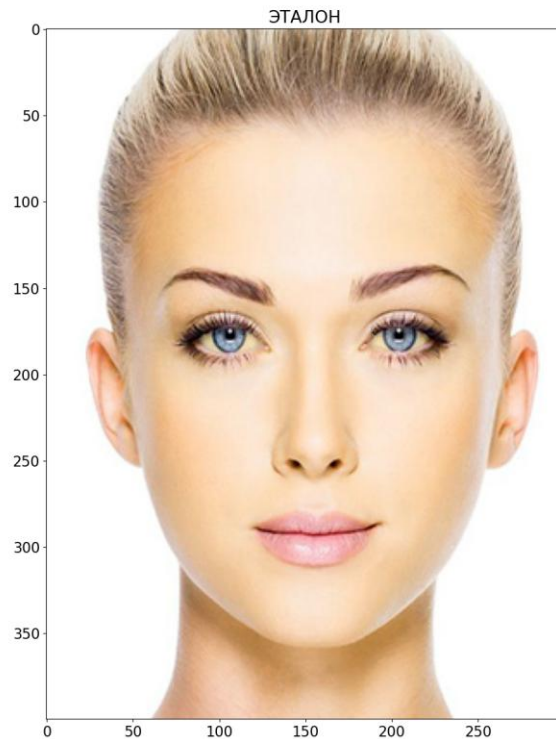


Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Минковский	0.9296	0.9517	



# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

## ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ. ПРИКЛАД 2.3



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Минковский	0.9296	0.9517	0.7628

# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

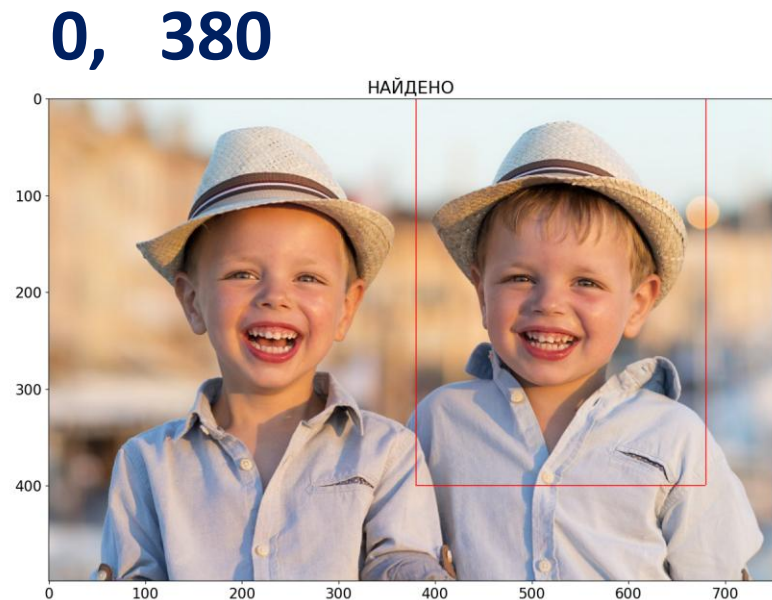
## ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ. ПРИКЛАД 3.1



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Корреляция	0.9831		

# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

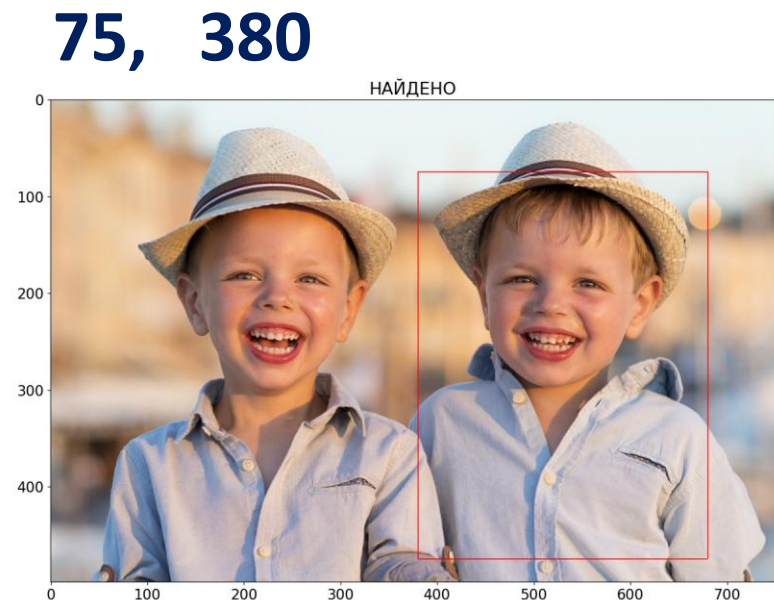
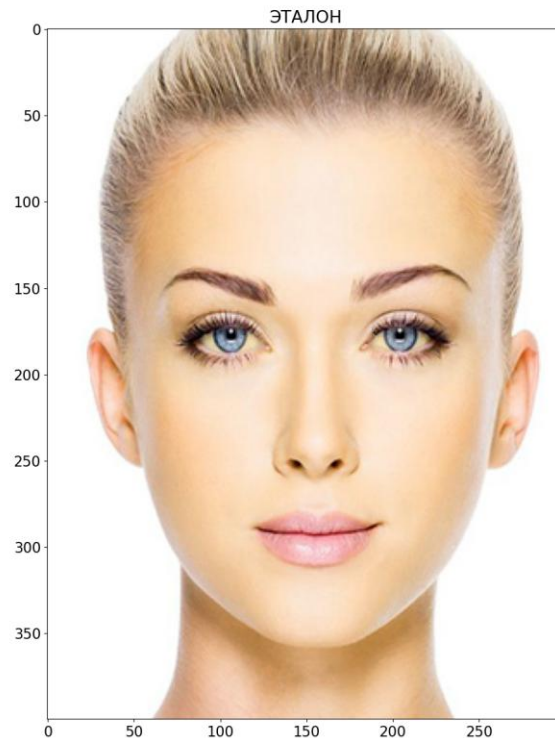
## ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ. ПРИКЛАД 2.2



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Корреляция	0.9831	0.9913	

# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

## ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ. ПРИКЛАД 3.3



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Корреляция	0.9831	0.9913	0.9601

# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

## ЗІСТАВЛЕННЯ С ЕТАЛОНОМ. Пример

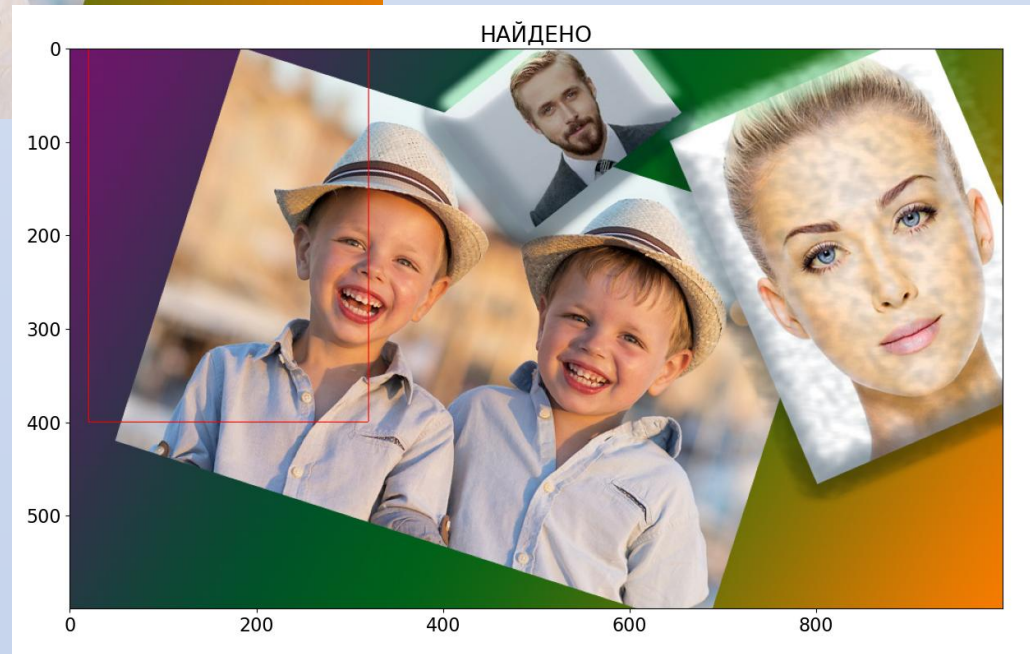
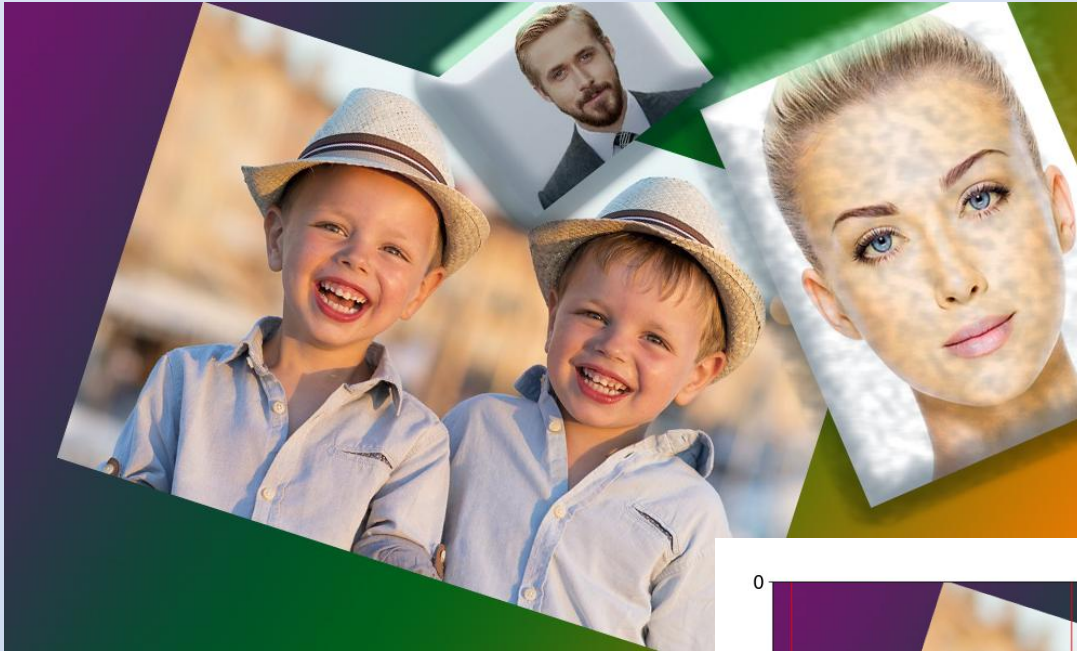
Мера	Face 1	Face 2	Face 3
HAUSDORF	0.2305	0.2085	0.0870
Минковский	0.9296	0.9517	0.7628
Корреляция	0.9831	0.9913	0.9601

Координаты	Face 1	Face 2	Face 3
HAUSDORF	15; 80	0; 380	75; 400
Минковский	0; 80	0; 380	75; 380
Корреляция	0; 80	0; 380	75; 380



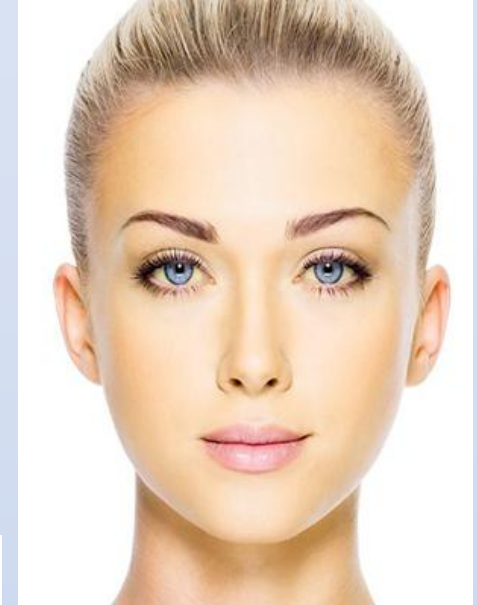
# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

## ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ. ПРИКЛАД 4.1



# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ

## ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ. ПРИКЛАД 4.2



# ПОШУК ОБ'ЄКТІВ ЗІСТАВЛЕННЯ З ЕТАЛОНОМ

## Проблеми:

- Вибір порога
- Чутливість до афінних перетворень (масштабування, зсув, поворот).
- Обчислювальна складність.

## Рішення:

- Використання хешу зображення.
- Оптимізація обчислювального процесу.
- Використання Фур'є перетворення.
- Перехід до точок інтересу.



# ХЕШ ЗОБРАЖЕННЯ

## ВІДСТАНЬ ХЕМІНГА

Відстань Хемінга — кількість позицій, у яких відповідні цифри двох бінарних слів однакової довжини різні.

1	0	1	1	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

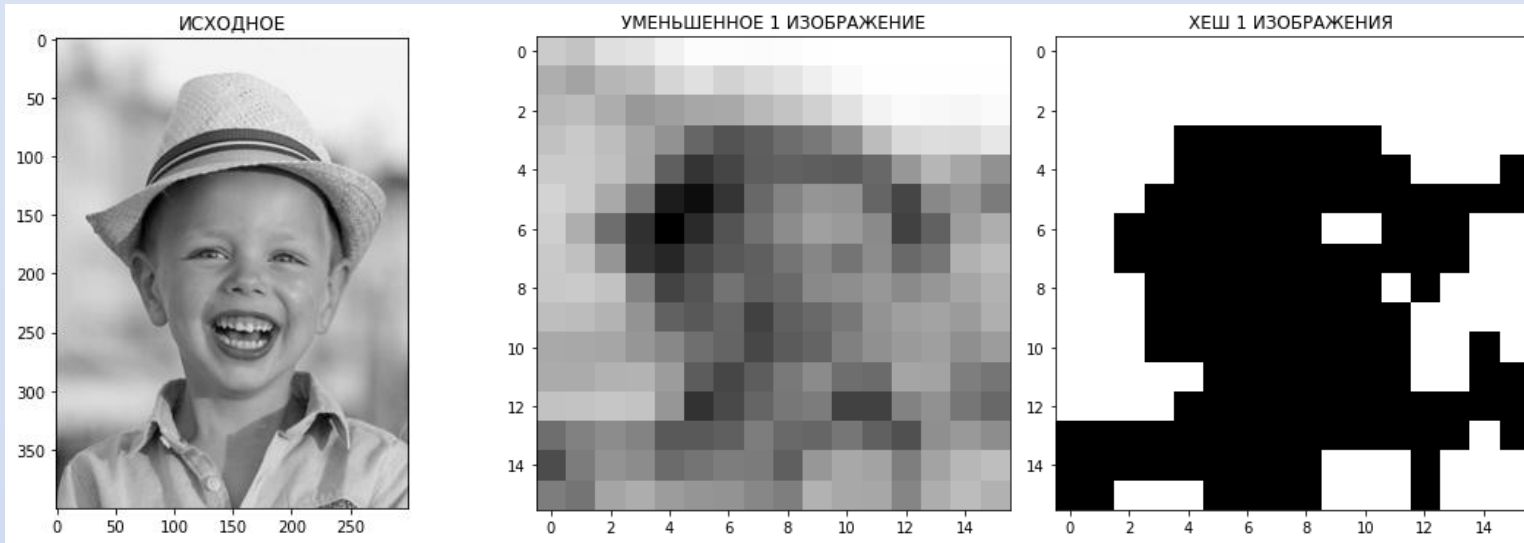
1	0	0	1	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

*dist* = 4

Побудова Хешу зображення.

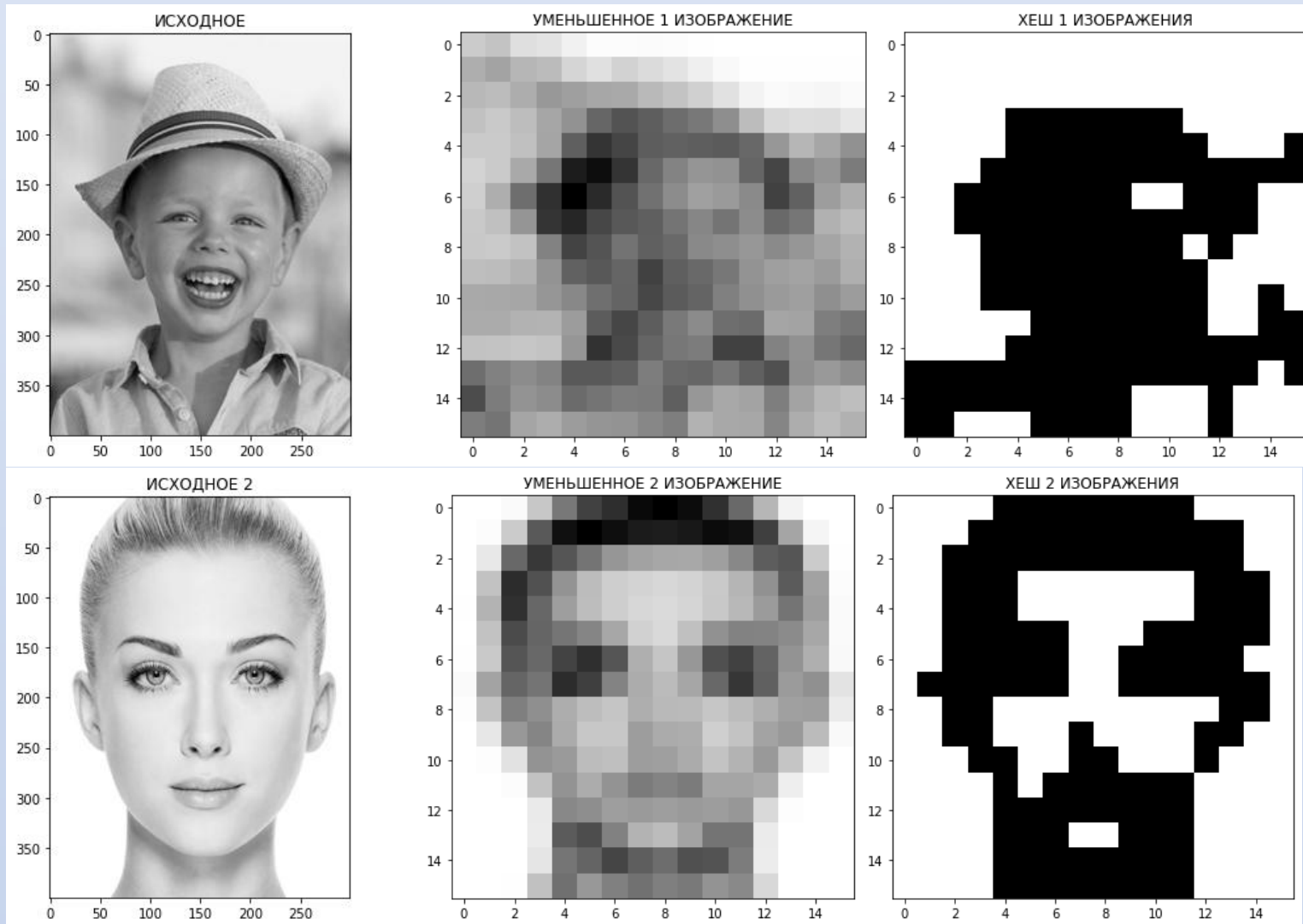
- Перетворюємо до ахроматичного.
- Зменшуємо розмір (? → 8 X 8, 16 X 16).
- Знаходимо середнє значення яскравості (*Laver*)
- Бінризуюємо зображення з порогом *Laver*
- Формуємо код зображення – 64 біт

# ХЕШ ЗОБРАЖЕННЯ ВІДСТАНЬ ХЕМІНГА

[illegible]

# ХЕШ ЗОБРАЖЕНИЯ

## ВІДСТАНЬ ХЕМІНГА



*dist = 128*

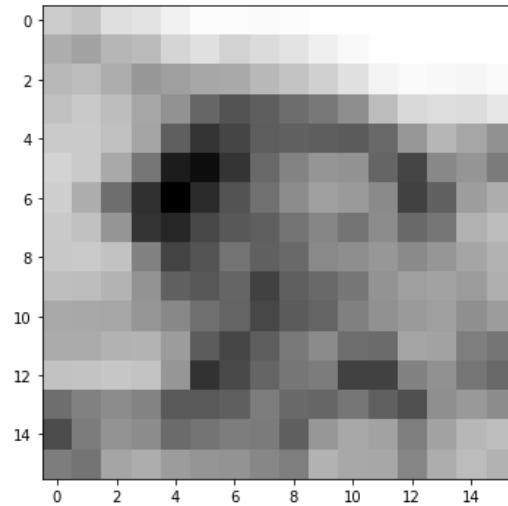
# ХЕШ ЗОБРАЖЕНИЯ

## ВІДСТАНЬ ХЕМІНГА

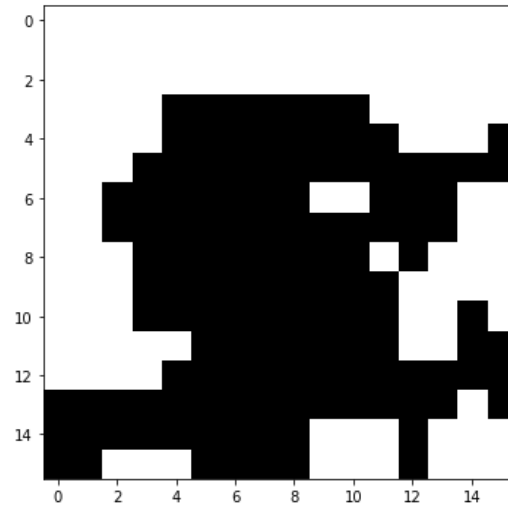
ИСХОДНОЕ



УМЕНЬШЕННОЕ 1 ИЗОБРАЖЕНИЕ



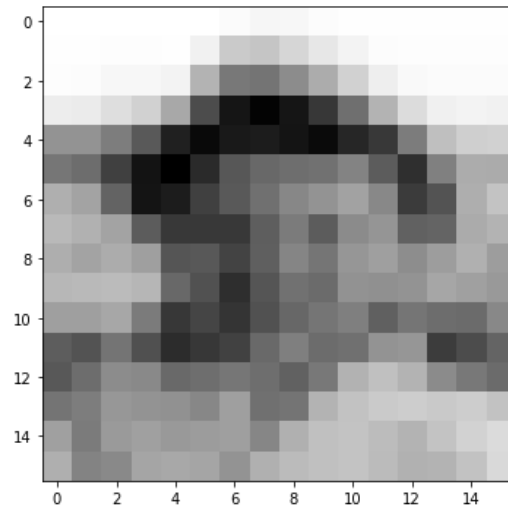
ХЕШ 1 ИЗОБРАЖЕНИЯ



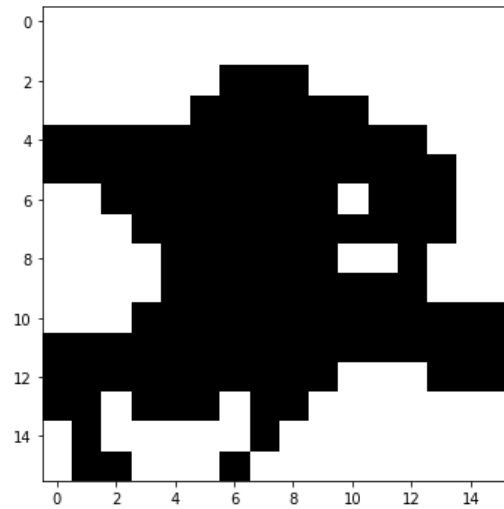
ИСХОДНОЕ 2



УМЕНЬШЕННОЕ 2 ИЗОБРАЖЕНИЕ



ХЕШ 2 ИЗОБРАЖЕНИЯ



*dist = 60*

# ХЕШ ЗОБРАЖЕННЯ

## ПЕРЕВАГИ

- **Простота та швидкість:** Розрахунок відстані Хеммінга виконується дуже швидко, оскільки він зводиться до простого підрахунку різниці між бітами.
- **Ефективність пам'яті:** Хеші зображень, що використовуються з відстанню Хеммінга, зазвичай мають невеликий розмір, що дозволяє ефективно зберігати та порівнювати велику кількість зображень.
- **Стійкість до невеликих змін:** Перцептивні хеші, що використовуються з відстанню Хеммінга, розроблені таким чином, щоб бути стійкими до невеликих змін у зображеннях, таких як зміни яскравості, контрастності або невеликі повороти.

**The END 10**