

# **КОМП'ЮТЕРНИЙ СИНТЕЗ та ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ**

**2020 / 2021 навчальний рік**

# КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ

1. Задача сравнения изображений
2. Меры сходства
3. Алгоритм скользящего окна
4. Сегментация. Градиент изображения. Лапласиан.
5. Лапласиан Гауссиана (LoG)

# СРАВНЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

**Общая задача выделения (нахождения, детектирования) объектов на изображении — определение наличия или отсутствия объекта определённого домена (вида) на изображении, нахождение границ этого объекта в системе координат пикселей исходного изображения.**

**Простейший вариант → задача сравнения: сопоставить два (или больше) изображения (или их фрагментов) на предмет сходства.**



**? Что есть сходство  
изображений ?**



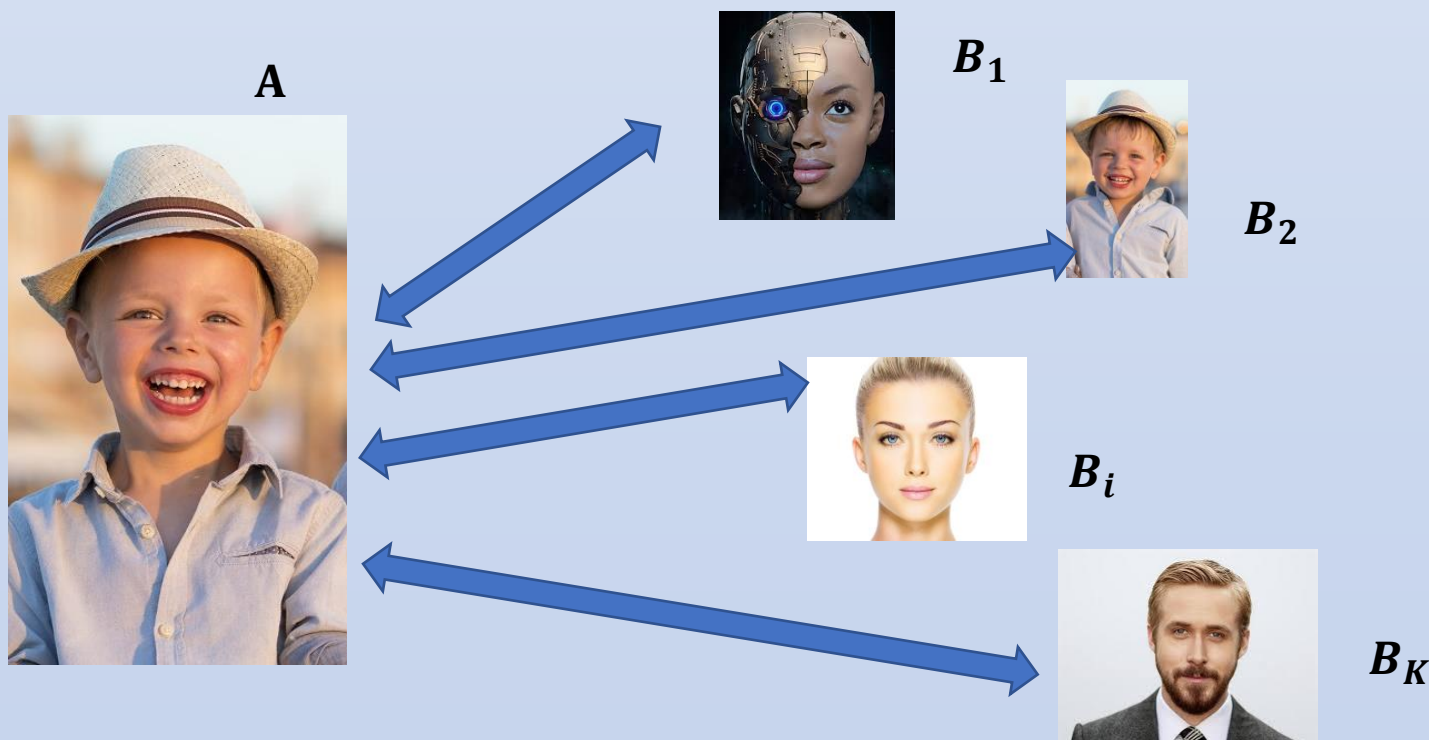
# СРАВНЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Задача:

Заданы цифровые  $A, B_1, B_2, \dots, B_K$  изображения

Допустим, что их размеры  $N \times M$  пикселей одинаковые и одинаков диапазон допустимых значений яркости  $I$ .

Необходимо найти такое  $B_i$ , которое **больше(?)** других **похоже(?)** на изображение  $A$ .



# СРАВНЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

**Общие подходы к сравнению:**

- **Субъективные оценки (человеческое восприятие, экспертные оценки)**
- **Математические меры, опирающиеся на некоторые модели зрения человека**
- **Объективные меры, построенные на теоретических моделях .**

**Методы сравнения, с учетом базы сравнения, подразделяются на**

- **Уровень пикселей,**
- **Точки интереса ,**
- **Сегменты и (или) кривые.**

# МЕРА СХОЖЕСТИ

Критерий схожести двух изображений  $A, B$  – мера схожести  $M(A, B)$ .

Свойства метричности:

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

Свойство нормализованности:

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

**полностью НЕ совпадают**

Устойчивость к шумам в изображениях.

Устойчивость к небольшим изменениям объектов на изображениях (малые смещения, сдвиги и т.д.).

Малое время вычисления меры.

Здесь  $a_{i,j}, b_{i,j}$  - интенсивность  $i, j$  пикселя изображений  $A, B$  соответственно.

# МЕРА СХОЖЕСТИ

## Нормирования функция корреляции

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

## Нормирования усредненная функция корреляции

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

# МЕРА СХОЖЕСТИ

Сумма квадратов разностей

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

Взвешенная сумма квадратов разностей

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

Среднеквадратичная погрешность

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



# МЕРА СХОЖЕСТИ

## 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

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

# МЕРА СХОЖЕСТИ

## Метрика Хаусдорфа

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

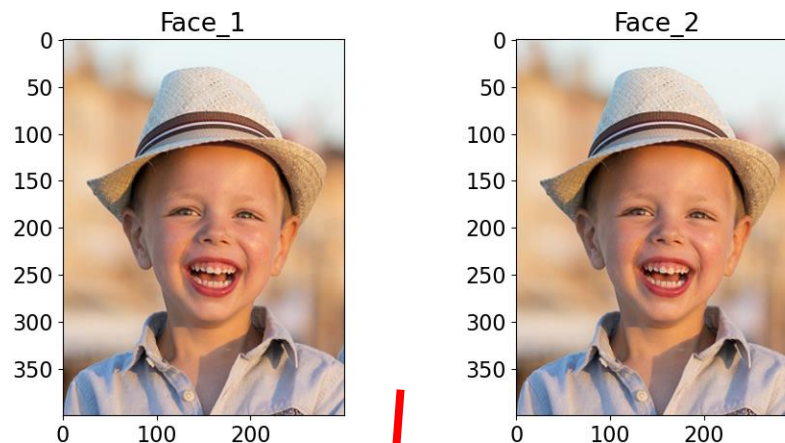
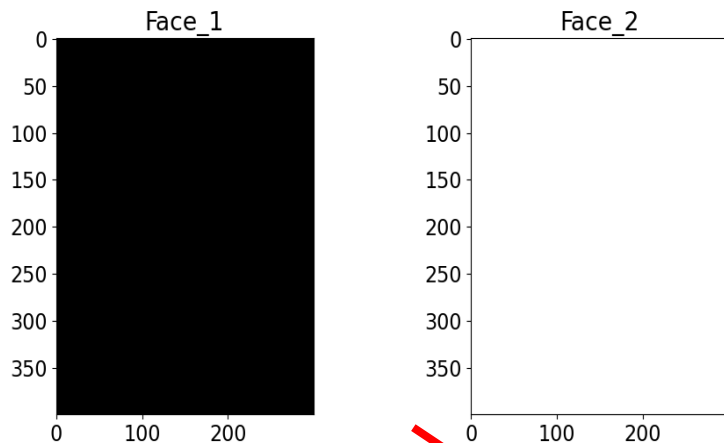
## «Городская» метрика (метрика Минковского)

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

## Усредненная «городская» метрика

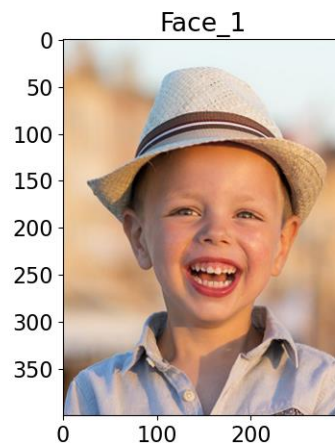
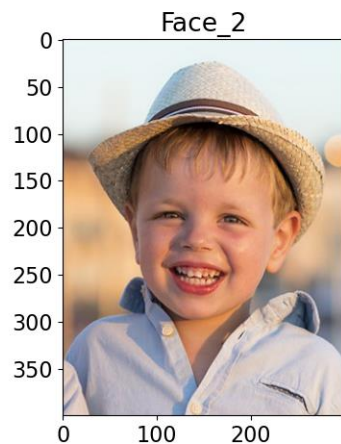
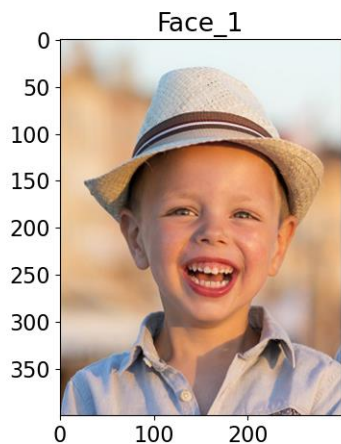
$$R^{\bar{C}} = 1 - \frac{1}{INM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} |a_{i,j} - b_{i,j} - \overline{a_{i,j}} + \overline{b_{i,j}}|$$

# МЕРА СХОЖЕСТИ



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

# МЕРА СХОЖЕСТИ



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

# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ

**Задача. Заданы**

**Эталонное изображение  $A$ , размером  $N_A \times M_A$  пикселей**

**Обрабатываемое изображение  $B$ , размером**

**$N_B \times M_B$ , причем  $N_A < N_B$  и  $M_A < M_B$ . Диапазон яркостей  $I$  совпадает.**

**Определить: а) есть ли фрагмент на изображении, б) если есть, то где.**

**Подход скользящего окна .**

**Эталон сравнивается со всеми объектами на обрабатываемом изображении путем последовательного перемещения по изображению. Например слева-направо — сверху вниз. При этом вычисляется мера сходства.**

# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. АЛГОРИТМ

1. Выделяется фрагмент изображения в соответствии с размером эталона, начиная с правого верхнего угла.
2. Вычисляется мера сходства эталона и выделенного фрагмента.
3. Полученное значение сравнивается с пороговой величиной  $T$ . Принимается решение о соответствии фрагмента эталону.
4. Сдвиг на  $\Delta_i, \Delta_j$  и выделение нового фрагмента. Если не все фрагменты исчерпаны то к 2, в противном случае – ВЫХОД.

Выбор  $T, \Delta_i, \Delta_j$  зависит от поставленной задачи:

- если только определить наличие эталона, то  $\Delta_i = N_A, \Delta_j = M_A$ .
- если найти положение, то  $\Delta_i = 1, \Delta_j = 1$ .

# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример





# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 1.1

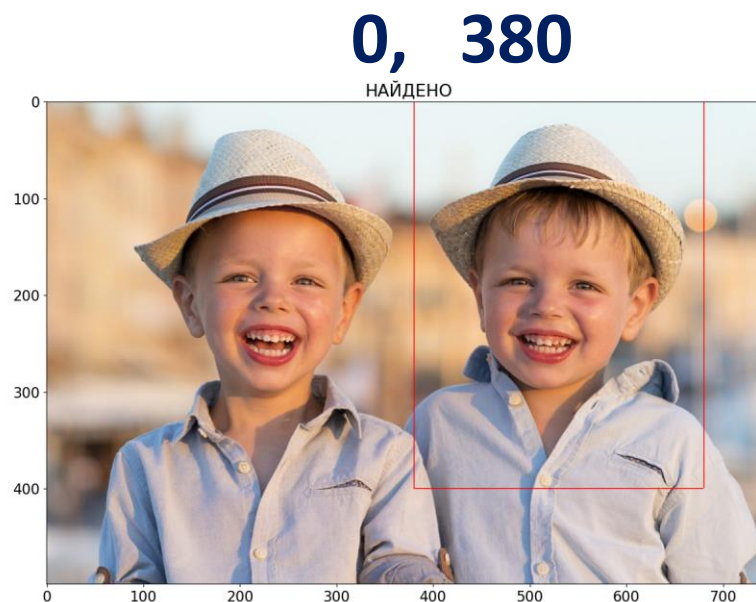


Мера	Face 1	Face 2	Face 3
HAUSDORF	0.2305		



# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

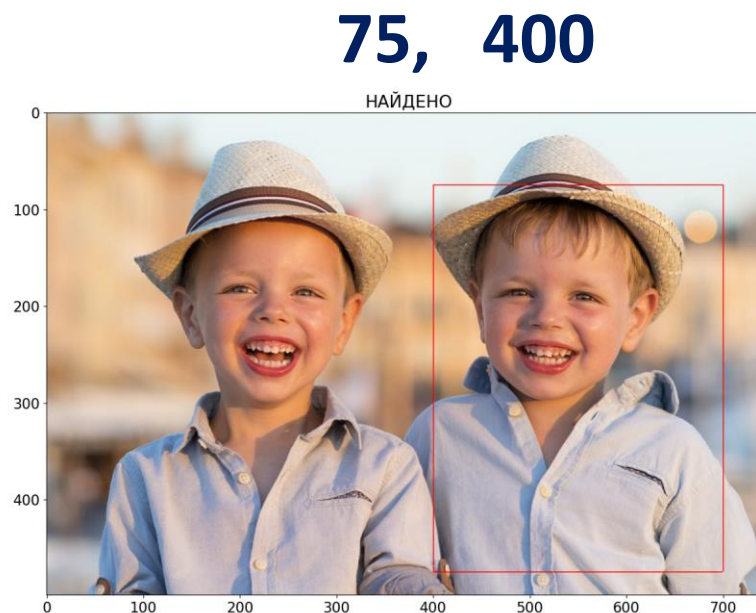
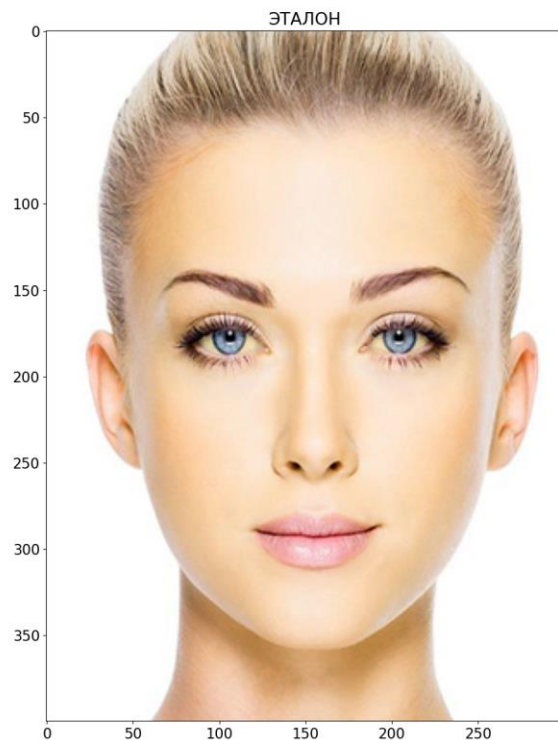
## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 1.2



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
HAUSDORF	0.2305	0.2085	

# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 1.3



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
HAUSDORF	0.2305	0.2085	0.0870

# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

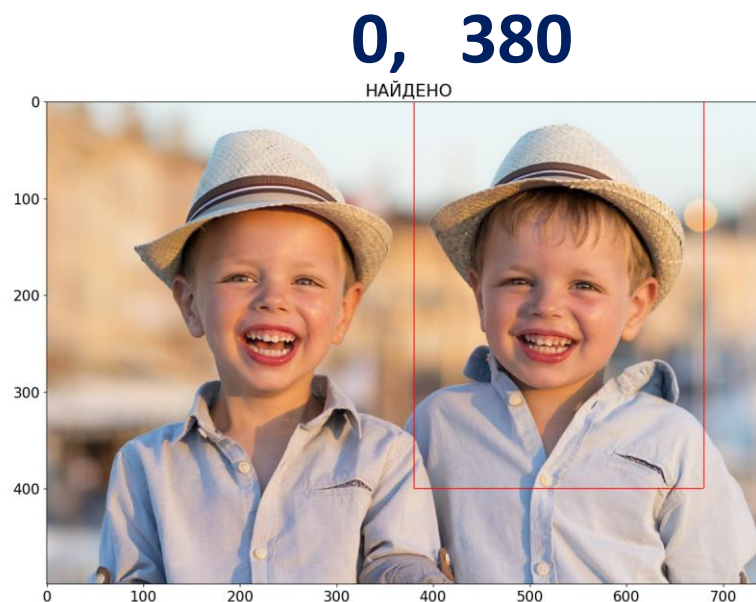
## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 2.1



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Минковский	0.9296		

# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 2.2

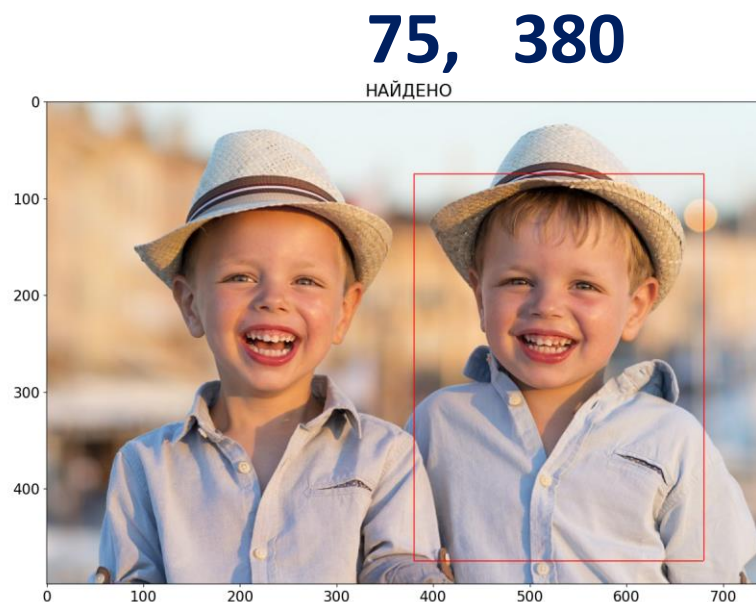
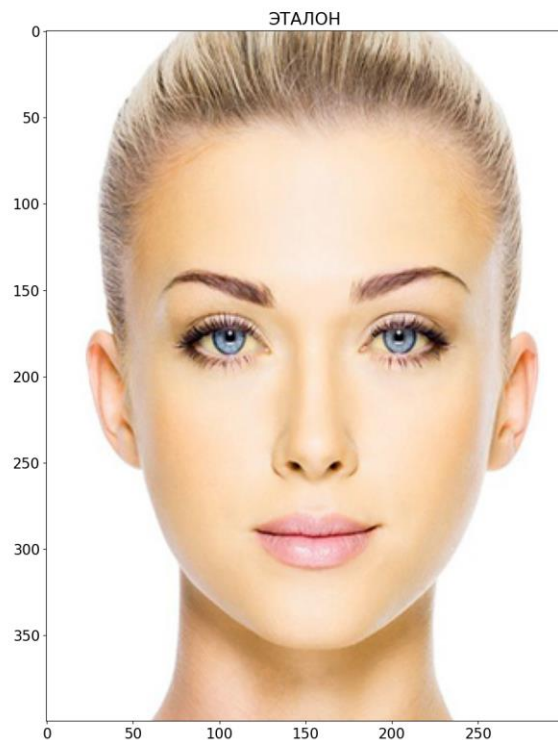


Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Минковский	0.9296	0.9517	



# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 2.3



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Минковский	0.9296	0.9517	0.7628

# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 3.1



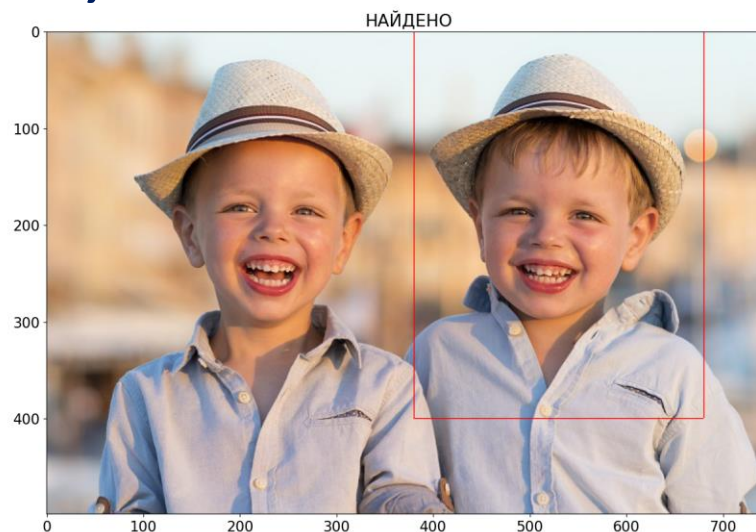
Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Корреляция	0.9831		

# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 3.2



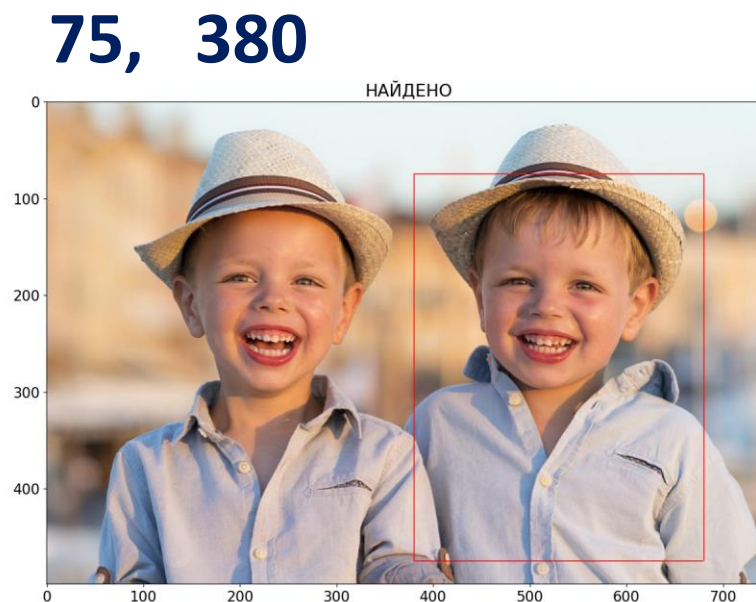
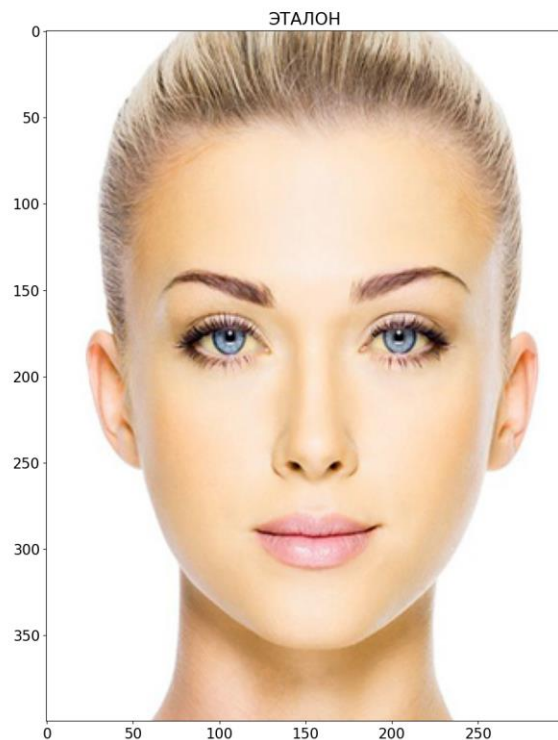
**0, 380**



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Корреляция	0.9831	0.9913	

# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 3.2



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Корреляция	0.9831	0.9913	0.9601



# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. 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

# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 4.1



# ПОИСК ОБЪЕКТОВ

## СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 4.1



# **ПОИСК ОБЪЕКТОВ**

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ**

### **Проблемы:**

- **Выбор порога**
- **Чувствительность к аффинным преобразованиям (масштабирование, сдвиг, поворот).**
- **Вычислительная сложность .**

### **Решения:**

- **Оптимизация вычислительного процесса.**
- **Использование Фурье преобразования.**
- **Переход к точкам интереса.**

# СЕГМЕНТАЦИЯ

**Сегментация подразделяет изображение на составляющие его области и (или ) объекты.**

**Степень детализации определяется решаемой задачей.**

**Одна из самых сложных задач обработки изображений.**

**Методы сегментации базируются на анализе яркостной компоненты изображения – выделяются области с резкими перепадами яркости и однородные области (с одинаковой в некотором смысле яркостью).**

# ОБНАРУЖЕНИЕ РАЗРЫВОВ ЯРКОСТИ

Основа - анализ градиентов (первые производные) и вторых производных яркостного сигнала изображения.

Вектор градиента двумерного изображения  $I(x, y)$

$$\nabla I(x, y) = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial I(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial I(x, y)}{\partial y} \end{bmatrix}$$

Вектор градиента характеризуется модулем и направлением

$$|\nabla I(x, y)| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}; \quad \alpha(x, y) = \arctg(G_y / G_x)$$



# ОБНАРУЖЕНИЕ РАЗРЫВОВ ЯРКОСТИ

Вычисление градиента изображения – использование фильтрации с помощью различных операторов, например операторов Робертса, Превитта, Собеля.

Робертс

-1	0
0	1
0	-1
1	0

Превитт

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

$G_x$

$G_y$

Собель

-1	0	1	1	2	1
-2	0	2	0	0	0
-1	0	1	-1	-2	1

$G_x$

$G_y$

# ОБНАРУЖЕНИЕ РАЗРЫВОВ ЯРКОСТИ

Вторая производная двумерного яркостного сигнала  $I(x, y)$

$$\Delta^2 I(x, y) = \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial y^2}$$

Вычисление с помощью дискретного Лапласиана

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

**Недостаток: высокая чувствительность к шумам, удвоение контуров.**

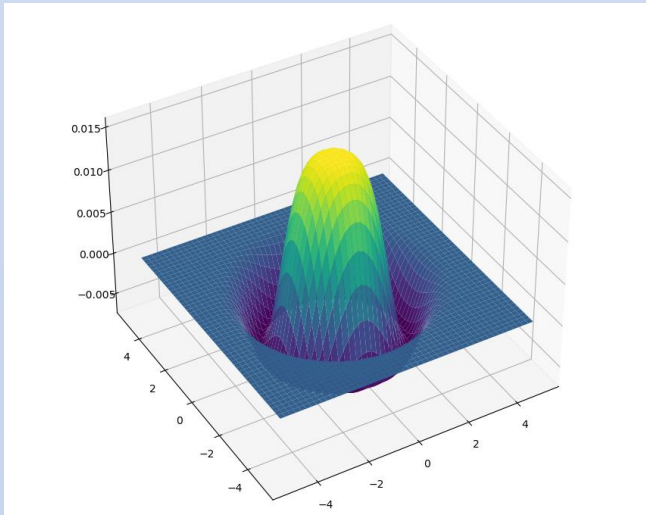


# ОБНАРУЖЕНИЕ РАЗРЫВОВ ЯРКОСТИ

Вторая производная двумерного яркостного сигнала  $I(x, y)$   
Вычисление с Лапласиана Гауссиана (LoG фильтр). Идея:  
сначала использовать фильтр Гаусса для размывания, а  
затем – Лапласиан.

$$h(r) = -e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, \quad r = x^2 + y^2.$$

$$\text{LoG: } \Delta^2 h(r) = -\left(\frac{r^2 - \sigma^2}{4\sigma^2}\right) e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}$$

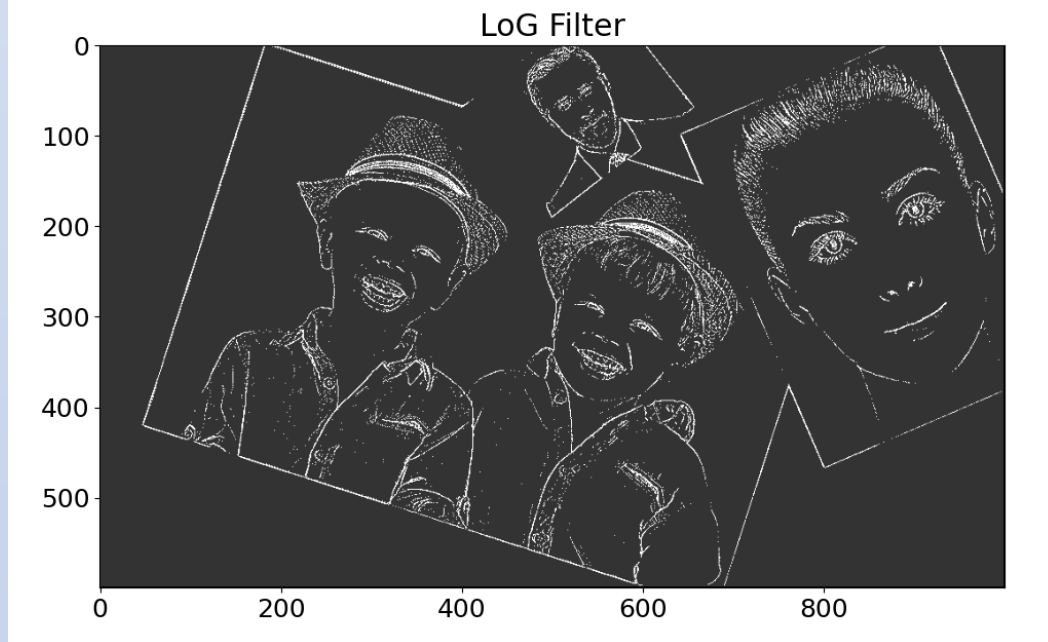
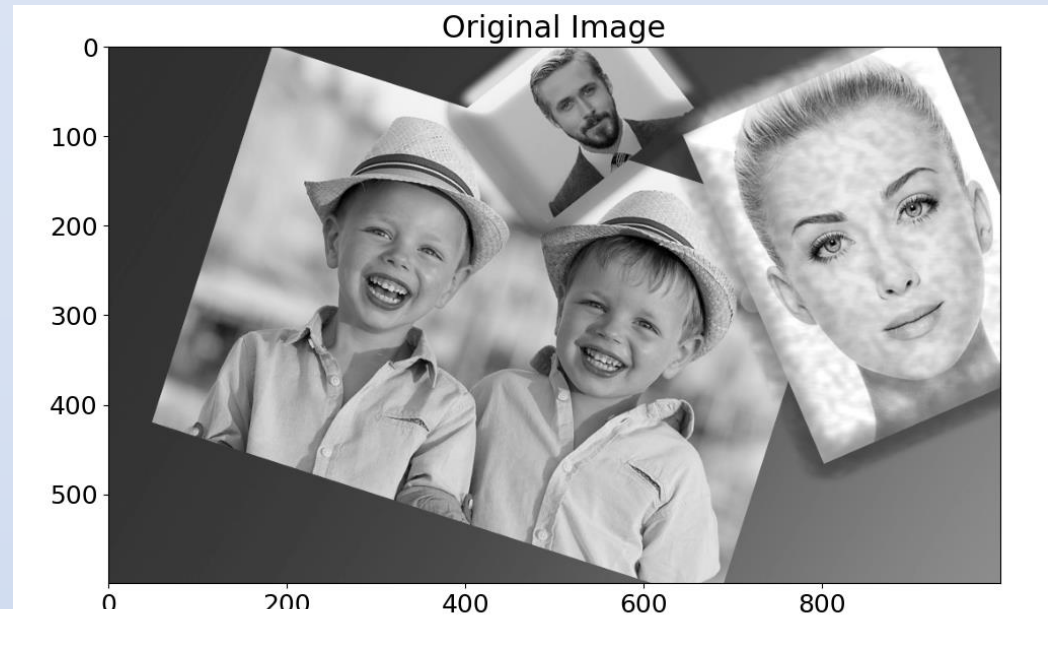


Оператор LoG

0	0	-1	0	0
0	-1	-2	-1	0
-1	-2	16	-2	-1
0	-1	-2	-1	0
0	0	-1	0	0

# ОБНАРУЖЕНИЕ РАЗРЫВОВ ЯРКОСТИ

## LoG фильтр



## Рекомендована ЛІТЕРАТУРА

- **Вовк С.М., Гнатушенко В.В., Бондаренко М.В.** Методи обробки зображень та комп'ютерний зір: навчальний посібник. - Д.: Ліра, 2016 — 148 с.
- **Красильников Н.Н.** Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учеб.пособие.- СПб.: БХВ-Петербург, 2011.- 608 с.: ил.
- **Гонсалес Р.С., Вудс Р.Э.** Цифровая обработка изображений. - М. : Техносфера, 2005. -1070 с.
- **Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. и др.** Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения.-М.: Физматкнига, 2010.-672 с.

## Рекомендована ЛІТЕРАТУРА

- **Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В.** Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. - М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. - 384 с.
- **Творошенко І.С.** Конспект лекцій з дисципліни «Цифрова обробка зображень» / І.С.Творошенко : І. С. Творошенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 75 с.
- Методы компьютерной обработки изображений: Учебное пособие для ВУЗов/ Под ред.: **Сойфер В.А..** - 2-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2003. - 780 с.
- **Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю.** Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

## Додаткова ЛІТЕРАТУРА

- **Грузман И.С., Киричук В.С.** Цифровая обработка изображений в информационных системах. — Новосибирск: Изд-во НГУ, 2002. — 352 с.: ил.
- **Solomon C., Breckon T.** Fundamentals of Digital Image Processing. — Willey-Blackwell, 2011 - 344 p.
- **Павлидис Т.** Алгоритмы машинной графики и обработки изображений: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1986. — 400 с.
- **Яншин В. В., Калинин Г. А.** Обработка изображений на языке Си для IBM PC: Алгоритмы и программы. — М.: Мир, 1994. — 240 с.

# Інформаційні ресурси

- Компьютерная обработка изображений. Конспект лекций. [http://aco.ifmo.ru/el\\_books/image\\_processing/](http://aco.ifmo.ru/el_books/image_processing/)
- Цифрова обробка зображень [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт / НТУУ «КПІ» ; уклад.: В. С. Лазебний, П. В. Попович. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,41 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 73 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/21035>
- <https://www.youtube.com/watch?v=CZ99Q0DQq3Y>
- <https://www.youtube.com/watch?v=FKTLW8GAdu4>

**The END**  
**Modulo 4. Lec 10**