

КОМП'ЮТЕРНИЙ СИНТЕЗ та ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ

2021 / 2022 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 ?**



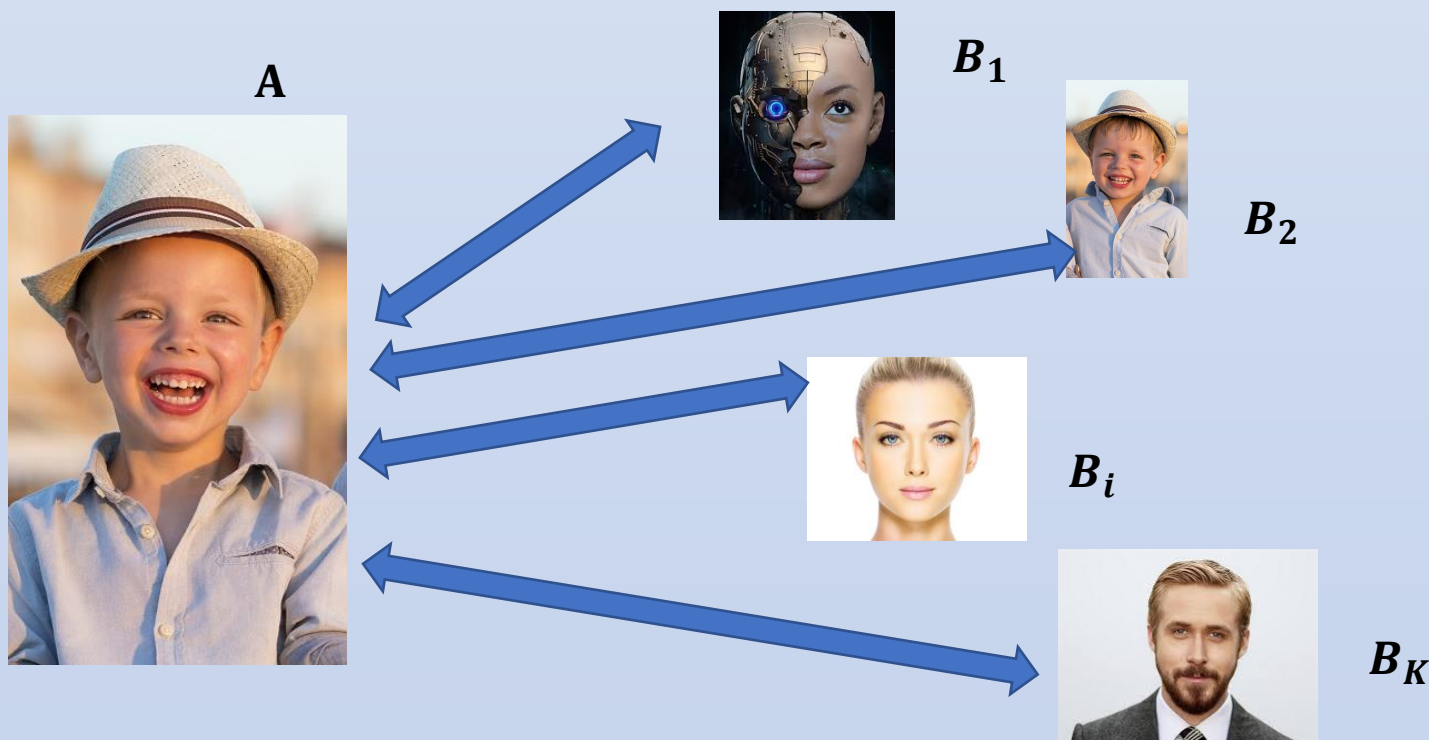
СРАВНЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

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

Нормированная функция корреляции

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

Нормированная 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

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

Взвешенная сумма квадратов разностей

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

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

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

МЕРА СХОЖЕСТИ

Метрика Хаусдорфа

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

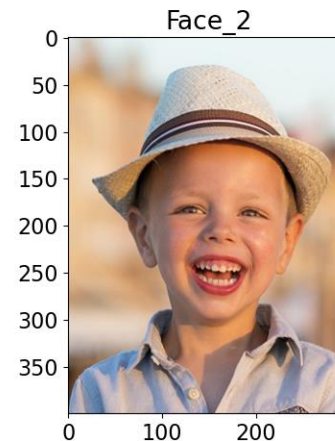
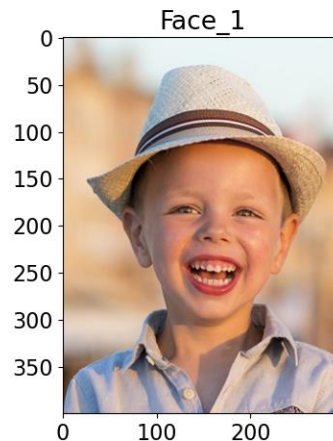
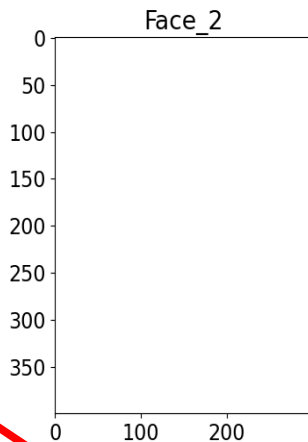
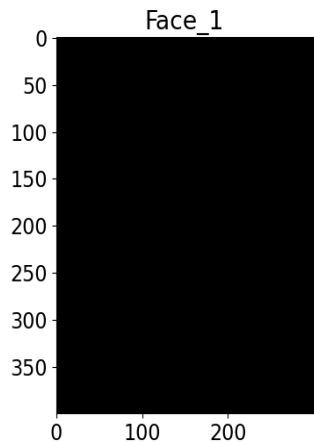
«Городская» метрика (метрика Минковского)

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

Усредненная «городская» метрика

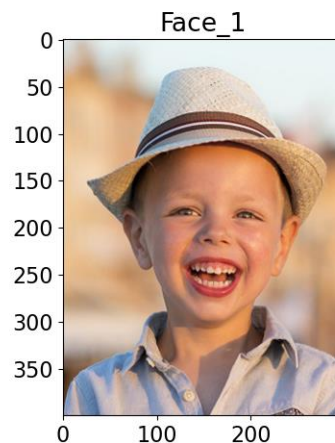
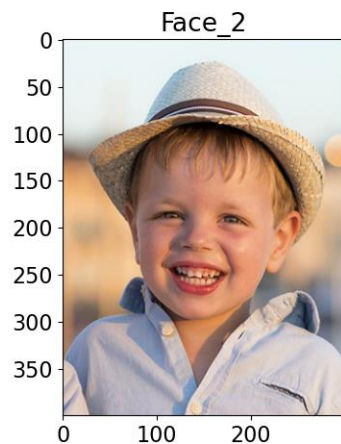
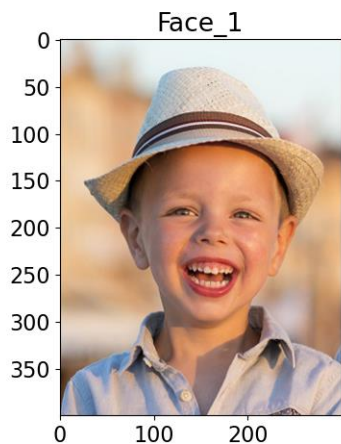
$$R^{\bar{C}} = 1 - \frac{1}{INM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} |a_{i,j} - b_{i,j} - \overline{a_{i,j}} + \overline{b_{i,j}}|$$

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 Δ_i, Δ_j и выделение нового фрагмента. Если не все фрагменты исчерпаны то к 2, в противном случае – ВЫХОД.

Выбор T, Δ_i, Δ_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

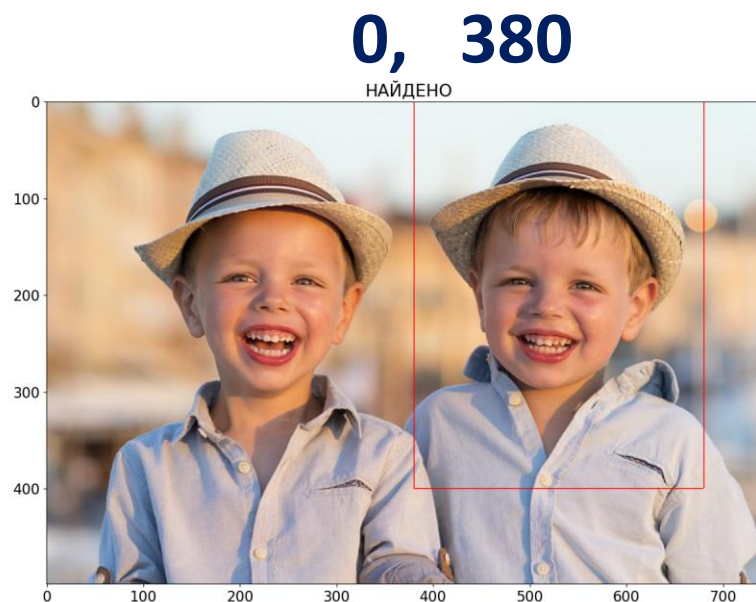
СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 1.1



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
HAUSDORF	0.2305		

ПОИСК ОБЪЕКТОВ

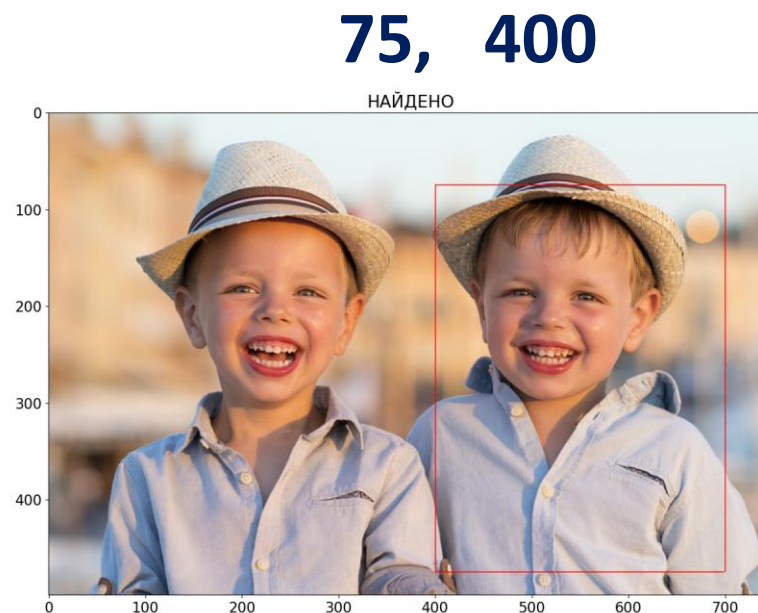
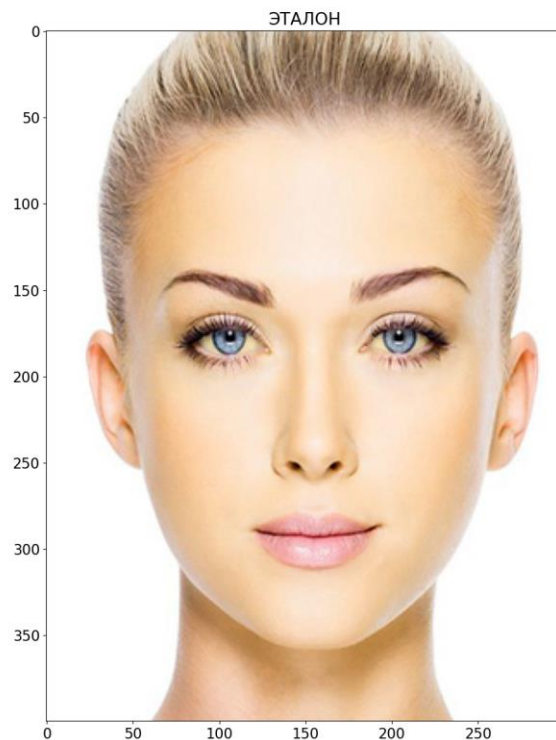
СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 1.2



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

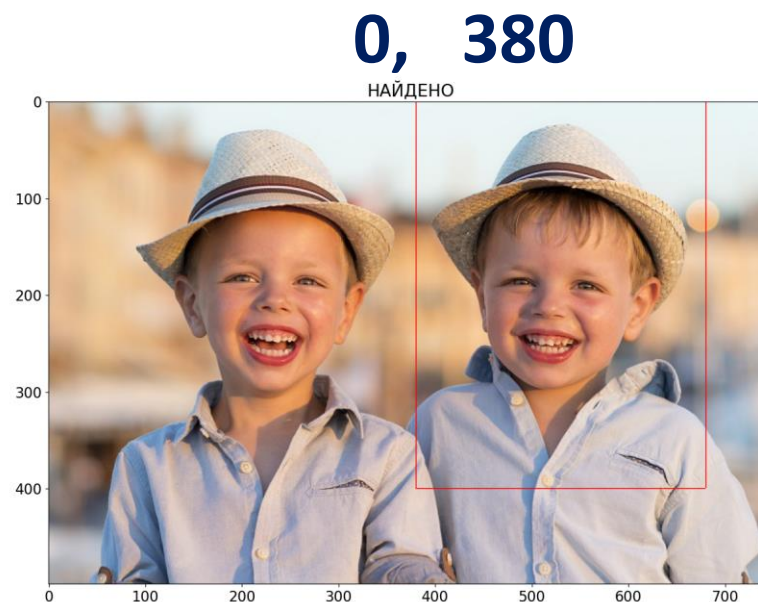
СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 2.1



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Минковский	0.9296		

ПОИСК ОБЪЕКТОВ

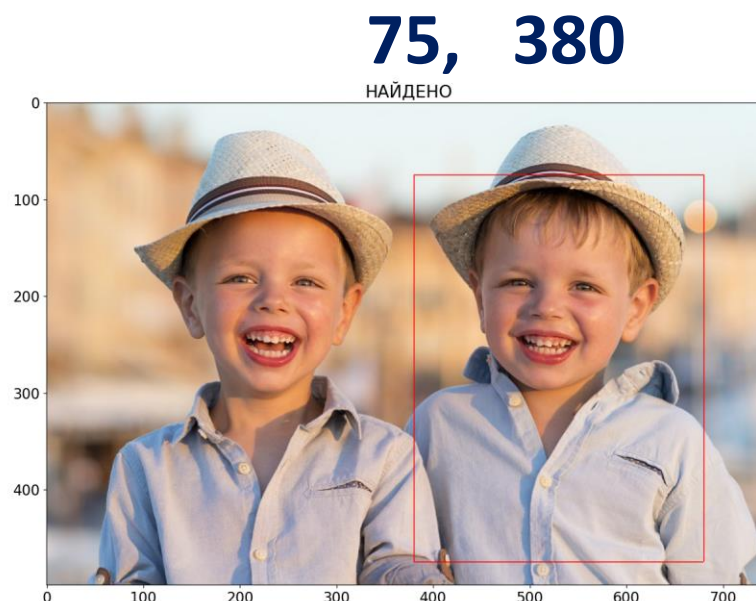
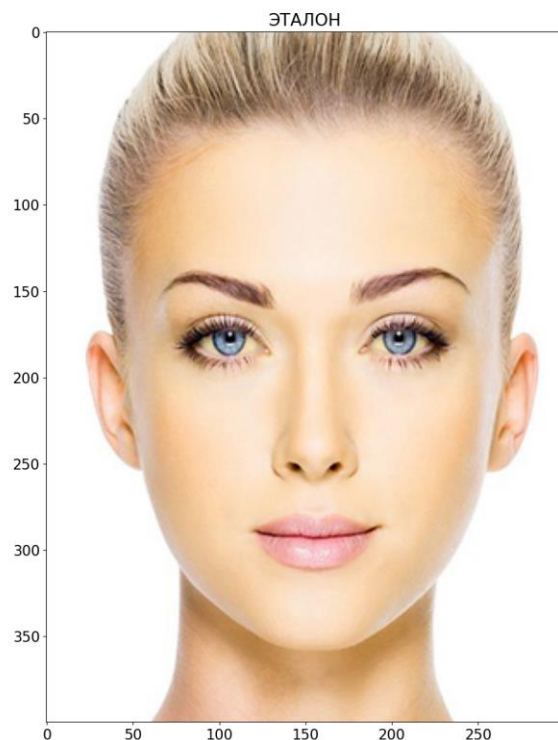
СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 2.2



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



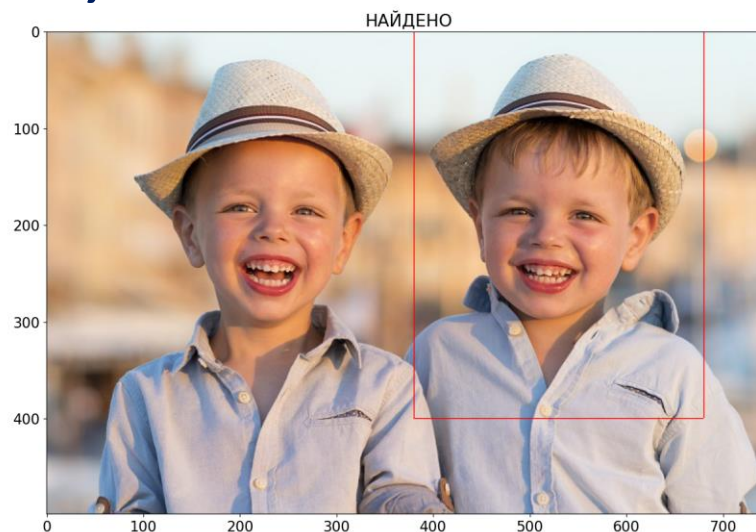
Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Корреляция	0.9831		

ПОИСК ОБЪЕКТОВ

СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 3.2



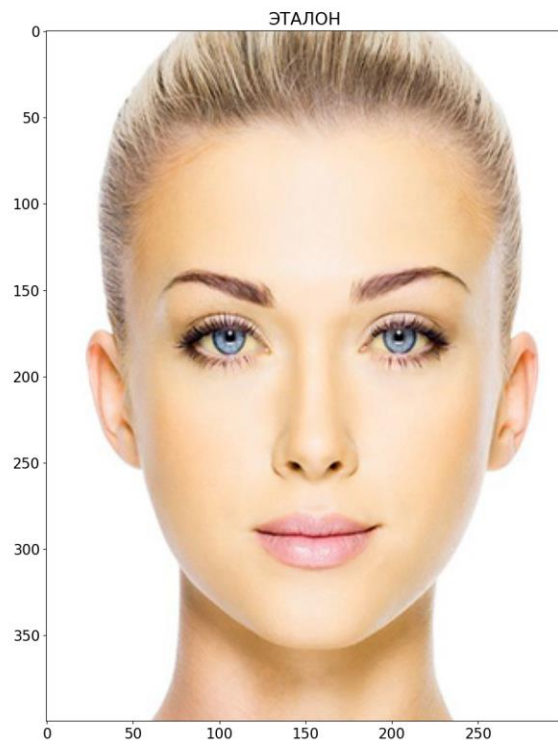
0, 380



Мера	Face 1	Face 2	Face 3
Корреляция	0.9831	0.9913	

ПОИСК ОБЪЕКТОВ

СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ. Пример 3.2



75, 380



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 4.2



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

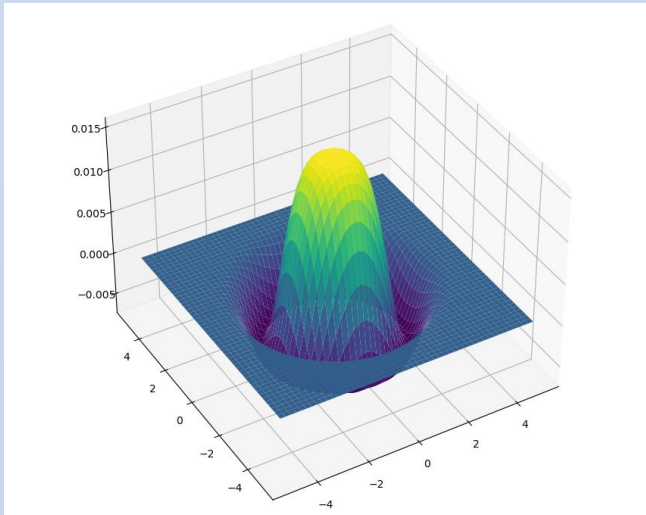
Недостаток: высокая чувствительность к шумам, удвоение контуров.

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.

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

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

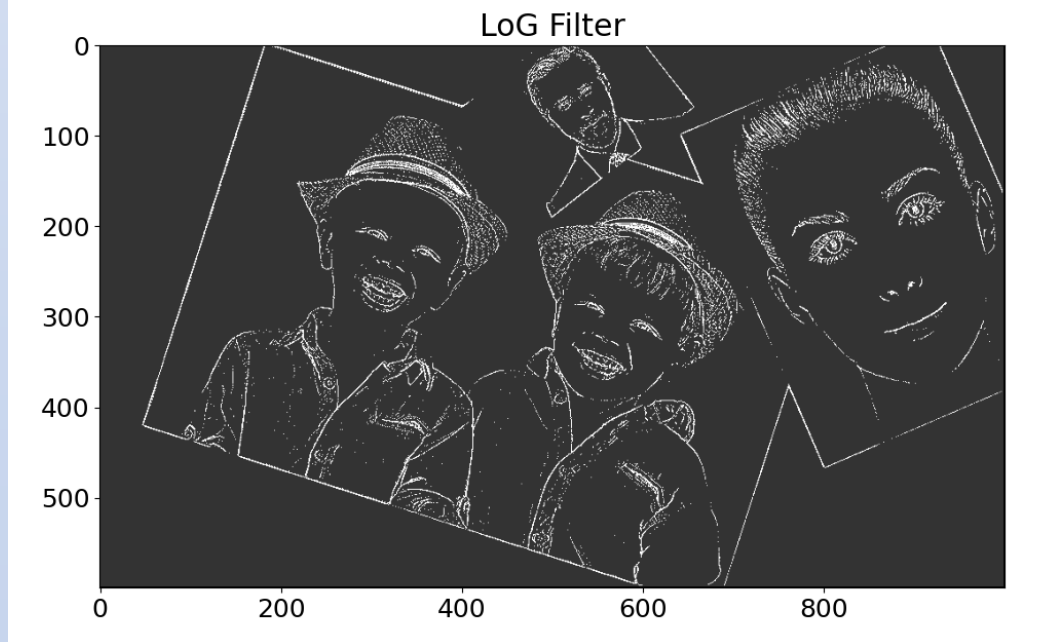
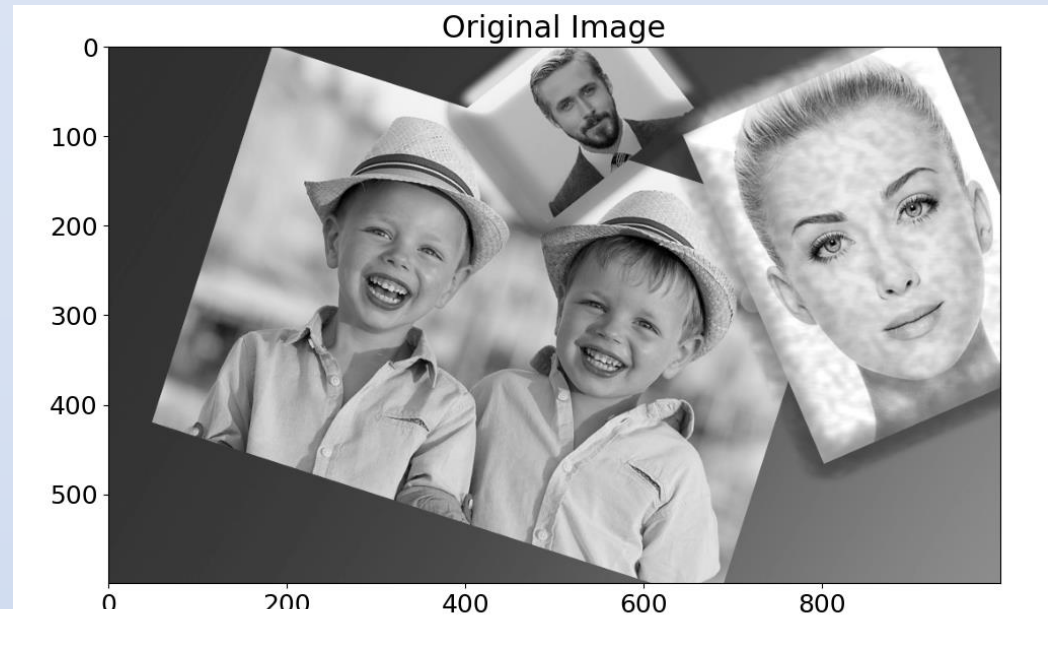


Оператор LoG

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/
- 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 08