

ММРО '17

«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ»

17-я ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

19-25 сентября 2015 г.

г. Светлогорск Калининградской обл.

Выделение отличий на мозаичных изображениях на основе референтных фильтров

Визильтер Ю.В., Горбацевич В.С.,

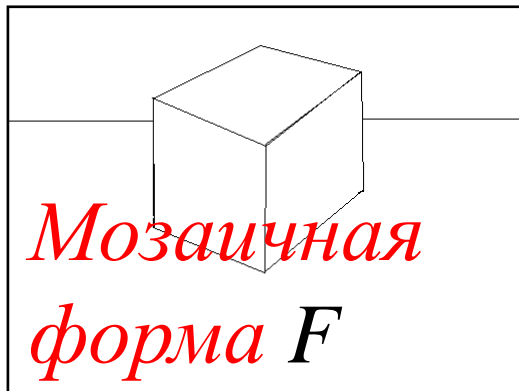
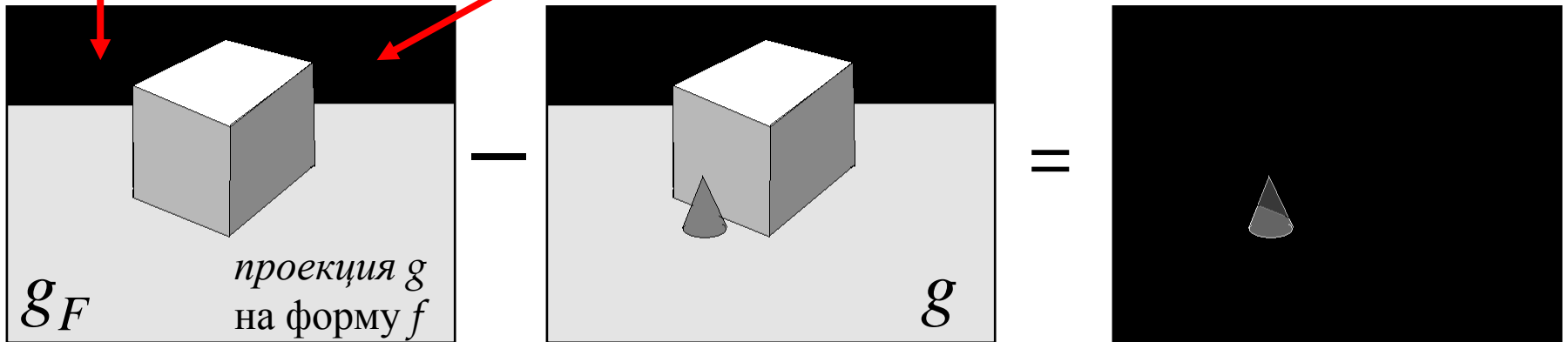
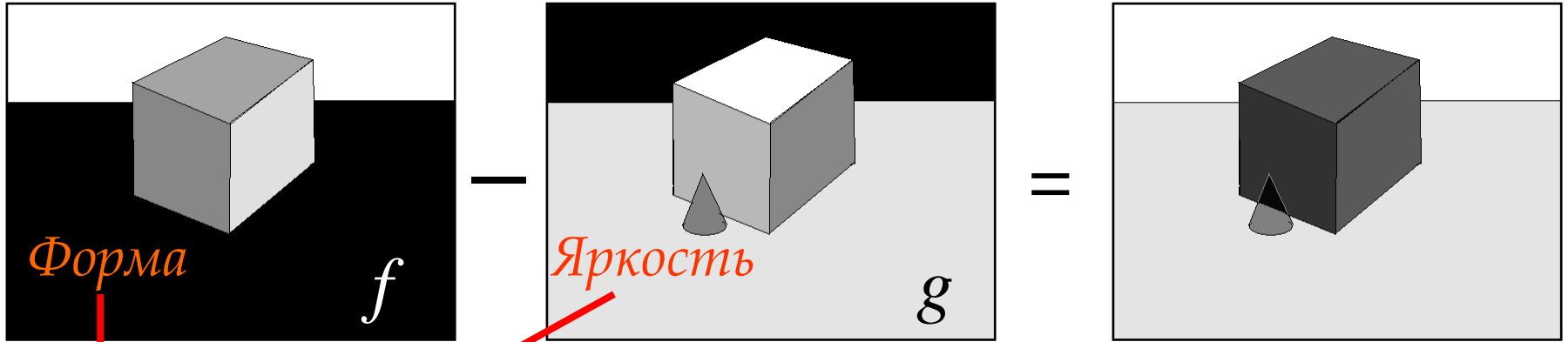
Лебедев М.А., Рубис А.Ю.

E-mail: MLebedev@gosniias.ru

ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»



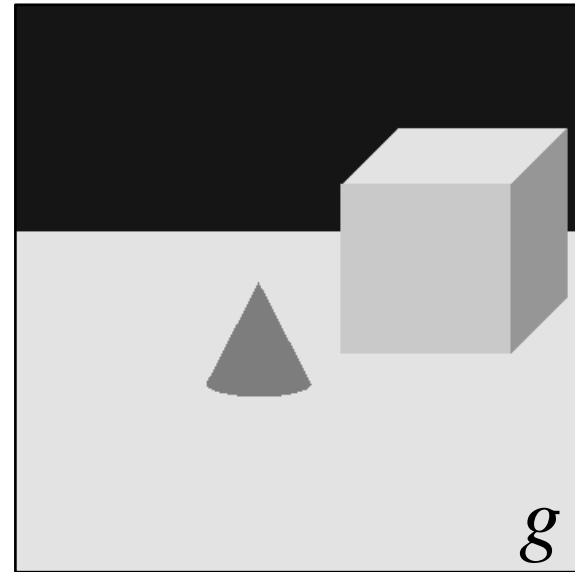
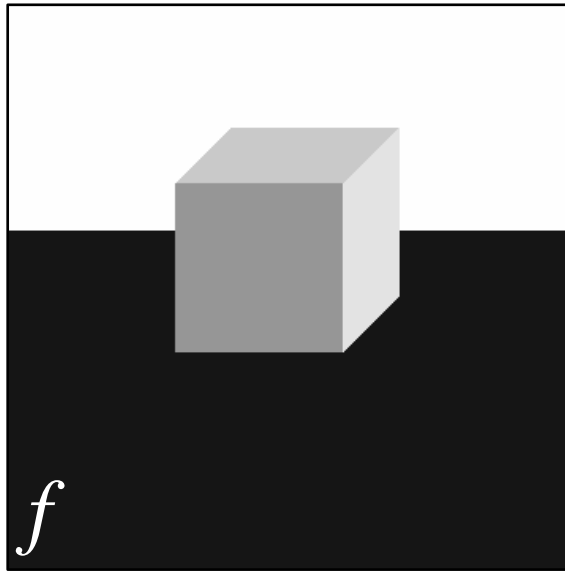
Морфологическое сравнение изображений



Сравнение изображений по форме:

- Выделить связные области изображения f .
- Вычислить средние яркости g по областям f .
- Вычислить $g_F =$ области f с яркостями от g .
- **Оценка сходства:** МКК $Km(g, F) = \|g_F\| / \|g\|$
- **Выделение отличий:** $\Delta m(g, F) = |g - g_F|$

Проблема: изображения одной сцены могут иметь разную мозаичную форму



Можно ли установить сходство по форме изображений, отличающихся изменениями не только яркости, но и геометрии (при сохранении состава сцены)?

Попытаемся решить задачу в рамках морфологии Пытьева

Пытьев Ю.П., Чуличков А.И. Методы морфологического анализа изображений // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 336с.

Математическое определение формы

Изображения – элементы линейного пространства:

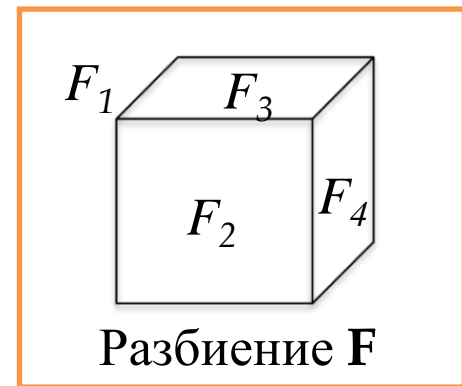
$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n f_i \chi_{F_i}(x, y),$$

где n – число областей разбиения \mathbf{F} кадра,
 $\mathbf{F} = \{F_1, \dots, F_n\}$; $\mathbf{f} = (f_1, \dots, f_n)$ – вектор значений яркости областей разбиения; $\chi_{F_i}(x, y) \in \{0, 1\}$ – индикаторная функция i -й области яркости.



Формы – линейные подпространства или множества изображений с одинаковыми разбиениями кадра $\mathbf{F} - F \subseteq L^2(\Omega)$:

$$F = \{f(x, y) = \sum_{i=1}^n f_i \chi_{F_i}(x, y), \mathbf{f} \in R^n\}$$



Формы как разбиения кадра = «мозаичные формы»

Пытьев Ю.П., Чуличков А.И. Методы морфологического анализа изображений // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 336с.

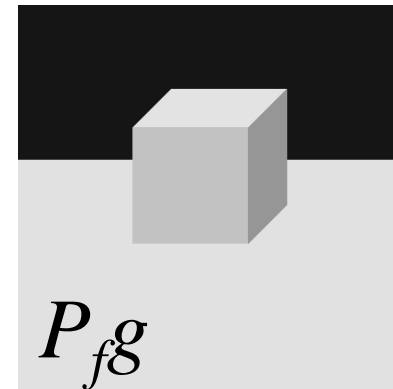
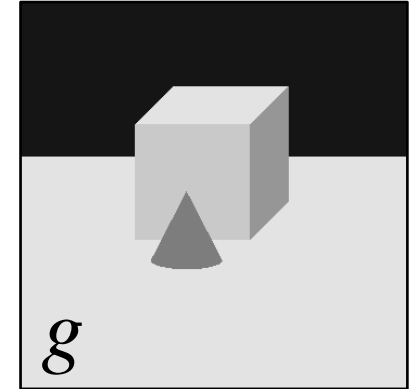
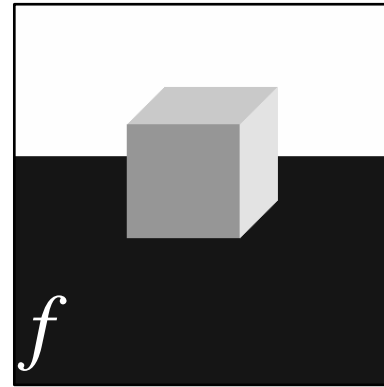
Проекция изображения на форму другого изображения

Морфологическая проекция
для дискретных изображений:

$$P_c g(x, y) = \sum_{i=1}^N c_i^* \chi_{A_i}(x, y)$$
$$c_i^* = \frac{\sum_x \sum_y \chi_{A_i}(x, y) g(x, y)}{\sum_x \sum_y \chi_{A_i}(x, y)} = \frac{(\chi_{A_i}, g)}{\|\chi_{A_i}\|^2}$$

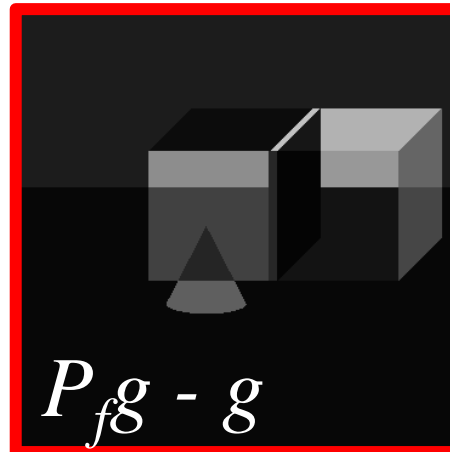
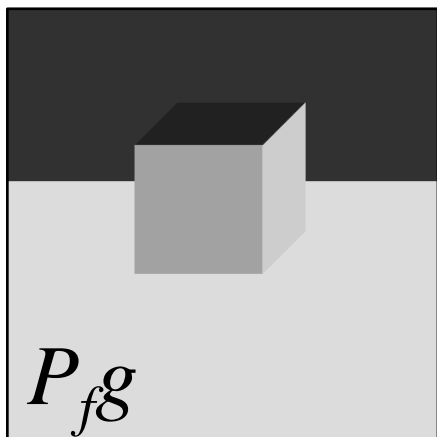
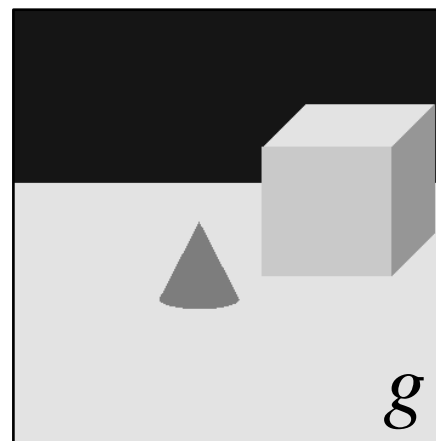
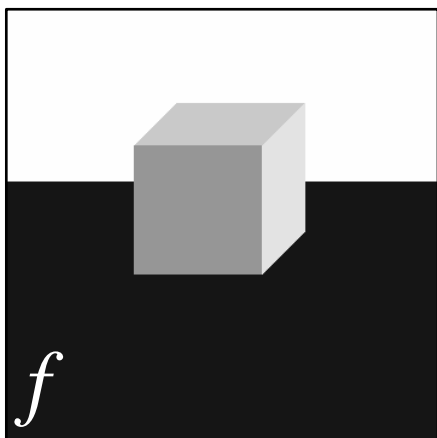
$$x, y \in X \quad 0 < c_i < \infty, i = 1..N$$

X – область кадра



Пытьев Ю.П., Чуличков А.И. Методы морфологического анализа изображений // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 336с.

Сравнение с проекцией при измененной геометрии изображения



Пытьев Ю.П., Чуличков А.И. Методы морфологического анализа изображений // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 336с.

Предложенное ранее обобщение: от мозаичных проекторов к диффузным операторам

Тепловые ядра и диффузный оператор (определения)

(Lafon, 2004), (Coifman, Lafon, 2006), (Coifman et al, 2007)

Пусть любой пиксель изображения f может быть описан некоторым вектором $\mathbf{v}(x, y)$. Тогда для $\varepsilon > 0$:

- Тепловое ядро

$$h_F(x, y, u, v) = \exp - \frac{\|\mathbf{v}(x, y) - \mathbf{v}(u, v)\|^2}{\varepsilon}$$

- Соответствующее нормализованное диффузное ядро

$$p_F(x, y, u, v) = h_F(x, y, u, v) / \sum_a \sum_b h_F(x, y, a, b)$$

- Соответствующий диффузный оператор (диффузный фильтр)

$$P_F f(x, y) = \sum_u \sum_v p_F(x, y, u, v) f(u, v)$$

Coifman, R., Lafon, S., 2006. Diffusion maps, Appl. Comp. Harm. Anal.

Yu. V. Vizilter, V. S. Gorbatshevich, A. Yu. Rubis, and S. Yu. Zheltov. Shape-Based Image Matching Using Heat Kernels and Diffusion Maps. // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. - Volume XL-3, 2014, pp. 357-364

Обобщенный подход к сравнению по форме

Идея сравнения изображений по форме:

Создается диффузный фильтр, который “почти сохраняет” изображение эталона f и затем применяется для тестового изображения g .

Если энергия g “сохранена достаточно”, тогда это “подобная форма f ”, иначе – имеются различия в форме.

Метод оценки соответствия изображений по форме:

1. Выбирается некоторый фрагмент изображения f как шаблон.
2. Вычисляется тепловое ядро h_F и нормализуется диффузное ядро p_F .
3. Вычисляются фильтрованные изображения $P_F f$ и $P_O f$.
4. Для всех тестовых фрагментов g в данной области интереса (соответствие области):

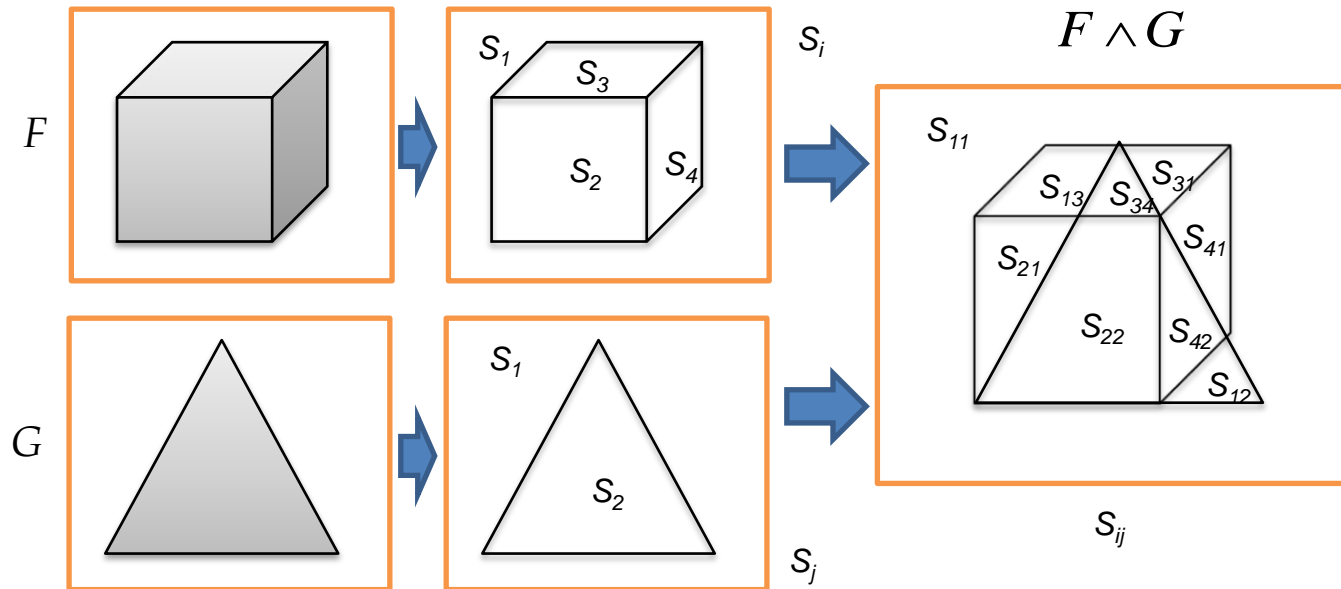
4.1. Вычисляются фильтрованные изображения $P_F g$ и $P_O g$.

4.2. Вычисляется *морфологический диффузный коэффициент корреляции* (МДКК)

$$K_{MD}(g, F) = \frac{\| P_F g - P_O g \| \| f - P_O f \|}{\| P_F f - P_O f \| \| g - P_O g \|}$$

5. Берется фрагмент g с лучшим значением МДКК как *лучшее соответствие f* в области интереса.

Пытьевское сравнение мозаичных изображений как взаимная фильтрация



Введем дополнительно следующие обозначения:

S – площадь кадра Ω ;

$S_i = \|\chi_{F_i}(x, y)\|^2$ – площадь области разбиения F_i ;

$S_j = \|\chi_{G_j}(x, y)\|^2$ – площадь области разбиения G_j ;

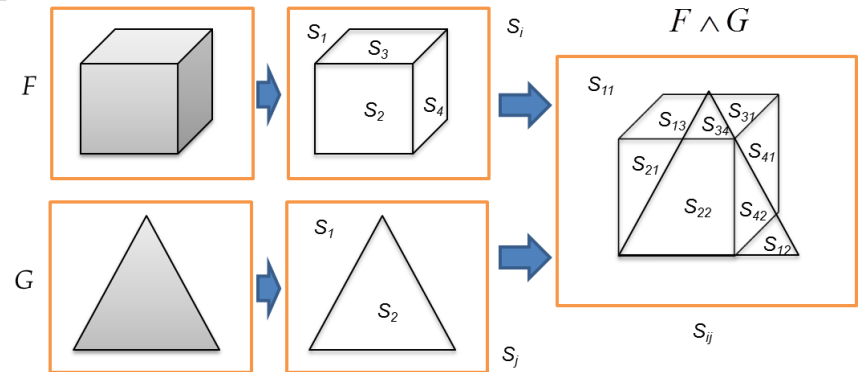
$S_{ij} = (\chi_{F_i}(x, y), \chi_{G_j}(x, y))$ – площадь пересечения $F_i \cap G_j$.

Пытьевское сравнение мозаичных изображений как взаимная фильтрация

Рассмотрим случай, когда сегментированное (мозаичное) тестовое изображение сравнивается с формой сегментированного (мозаичного) эталонного изображения

$$g(x, y) = \sum_{j=1, \dots, m} g_j \chi_{G_j}(x, y),$$

$$f(x, y) = \sum_{i=1, \dots, n} f_i \chi_{F_i}(x, y).$$



В этом случае Пытьевская проекция принимает следующий вид:

$$g_F(x, y) = P_F g(x, y) = \sum_{i=1}^n g_{F_i} \chi_{F_i}(x, y)$$

$$g_{F_i} = \sum_{j=1, \dots, m} p_{ij} g_j, \quad p_{ij} = S_{ij} / S_i.$$

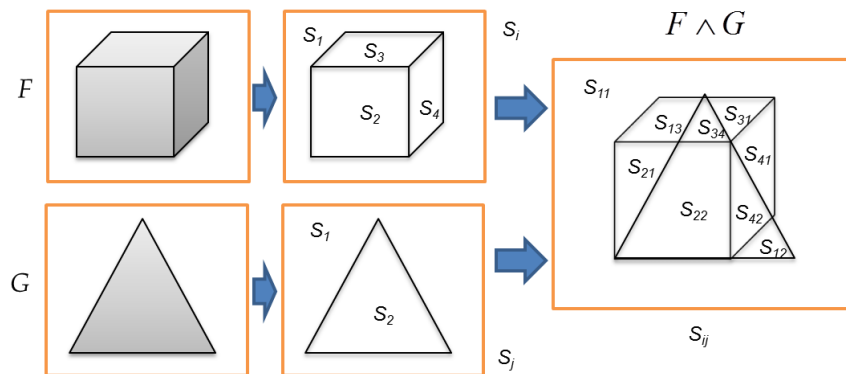
Пытьевское сравнение мозаичных изображений как взаимная фильтрация

Как видно, в формулу для вычисления проекции изображения g на форму F входят не только площади областей $\{S_i\}$, характеризующие форму F , но и **площади пересечения** областей $\{S_{ij}\}$, **характеризующие связь формы F с формой G** .
Заметим также, что обратная проекция f на G вычисляется при помощи симметричных выражений:

$$f_G(x, y) = P_G f(x, y) = \sum_{j=1}^m f_{Gj} \chi_{Gj}(x, y),$$

$$f_{Gj} = \sum_{i=1, \dots, n} q_{ji} f_i, \quad q_{ji} = S_{ij} / S_j.$$

**Взаимная интерпретация
морфологии Пытьева симметрична!**



Это наблюдение служит основой для предлагаемого обобщения.

Обобщение: сравнение мозаичных изображений на основе диффузной взаимной фильтрации

Матрицей взаимного сходства пары мозаичных изображений f и g будем называть матрицу

$$\mathbf{H} = [h_{ij}]_{n \times m},$$

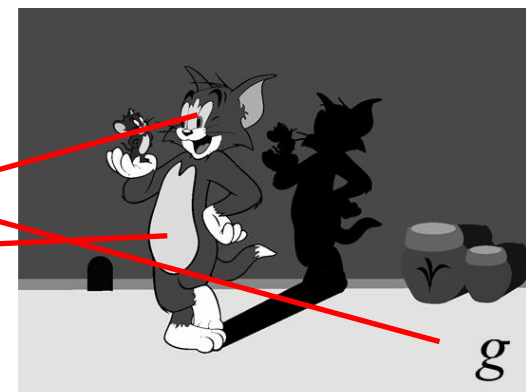
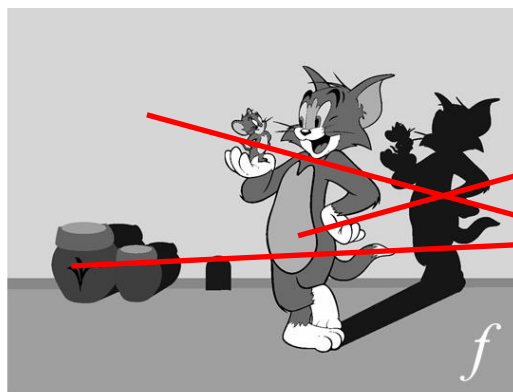
такую что

$$h_{ij} \geq 0, \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, m,$$

$$\sum_{i=1, \dots, n} h_{ij} = h_j, \quad j=1, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1, \dots, m} h_{ij} = h_i, \quad i=1, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1, \dots, n} \sum_{j=1, \dots, m} h_{ij}^2 < \infty.$$



Оценка парного сходства всех областей из разбиения кадра F со всеми областями из разбиения G

Обобщение: сравнение мозаичных изображений на основе диффузной взаимной фильтрации

Операцию *взаимной диффузной мозаичной фильтрации* изображений

f и g по матрице сходства областей $\mathbf{H} = [h_{ij}]_{n \times m}$ определим как

$$g_{FGH}(x, y) = P_{FGH} g(x, y) = \sum_{i=1}^n g_{FGi} \chi_{F_i}(x, y)$$

$$g_{FGi} = \sum_{j=1, \dots, m} p_{ij} g_j,$$

$$p_{ij} = h_{ij} / h_i,$$

$$h_i = \sum_{l=1, \dots, m} h_{il}.$$

Нормированное ядро парного сходства областей из разбиения кадра F с областями из разбиения G



Яркость области F_i - взвешенная сумма яркостей g_j с весами, пропорциональными сходству формы областей F_i и G_j

Обобщение: сравнение мозаичных изображений на основе диффузной взаимной фильтрации

Пусть теперь каждая область мозаичной формы характеризуется некоторым вектором признаков \mathbf{v} из метрического пространства признаков V с метрикой d_V . Тогда определим *тепловую матрицу сходства форм* на базе признаков \mathbf{v}

и метрики d_V как

$$h_{ij} = \exp(-d_V(\mathbf{v}(F_i), \mathbf{v}(G_j)) / \varepsilon),$$

где ε - определяет чувствительность фильтра к различиям областей.

Диффузная мозаичная фильтрация на основе тепловых ядер взаимного сходства областей из F и G



Яркость области F_i - взвешенная сумма яркостей g_j с весами, пропорциональными *сходству признаков формы F_i и G_j*

Свойства диффузных мозаичных фильтров



Результат
диффузной
фильтрации



Диффузные мозаичные
фильтры:

- Не увеличивают энергию (норму) фильтруемого (тестового) изображения;
- Не усложняют форму эталонного мозаичного изображения;
- В общем случае не являются проекторами.

Эксперименты: геометрия сцены неизменна, добавлены объекты



Эксперименты: малый сдвиг объектов сцены, добавлены объекты



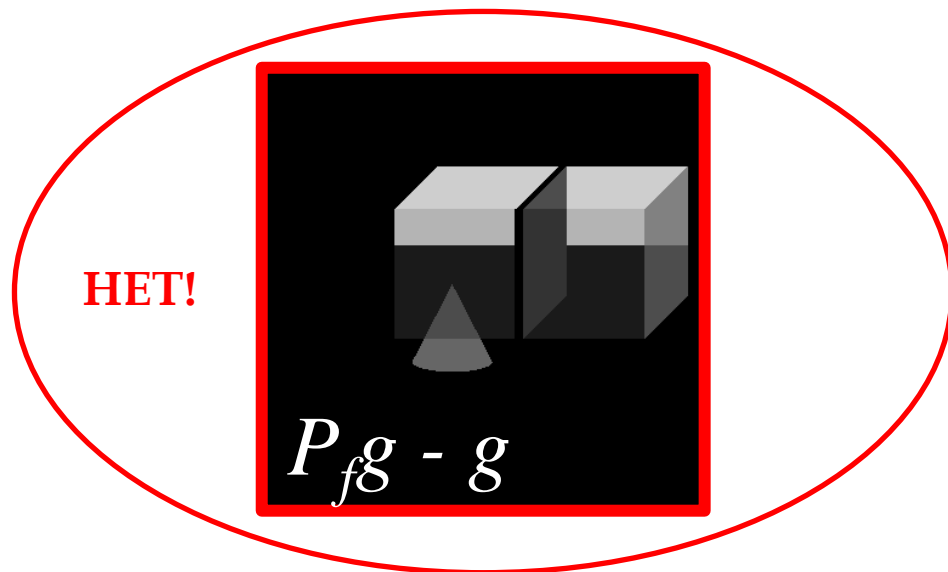
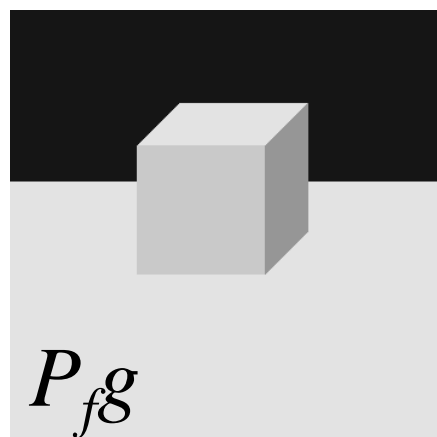
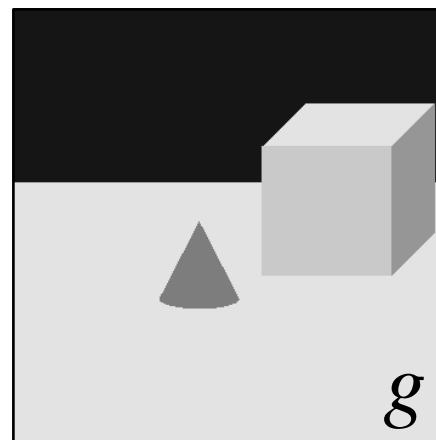
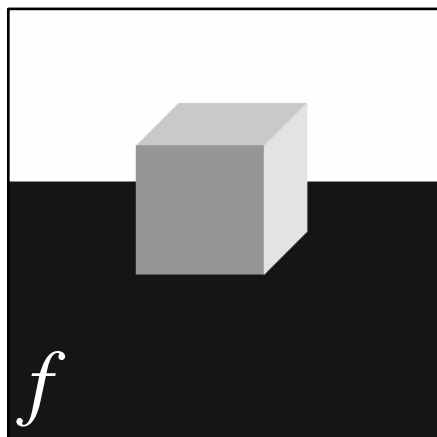
Эксперименты: изменена геометрия сцены при сохранении ее состава



Эксперименты: изменена геометрия сцены, добавлены новые объекты



Решает ли проблему диффузная фильтрация?

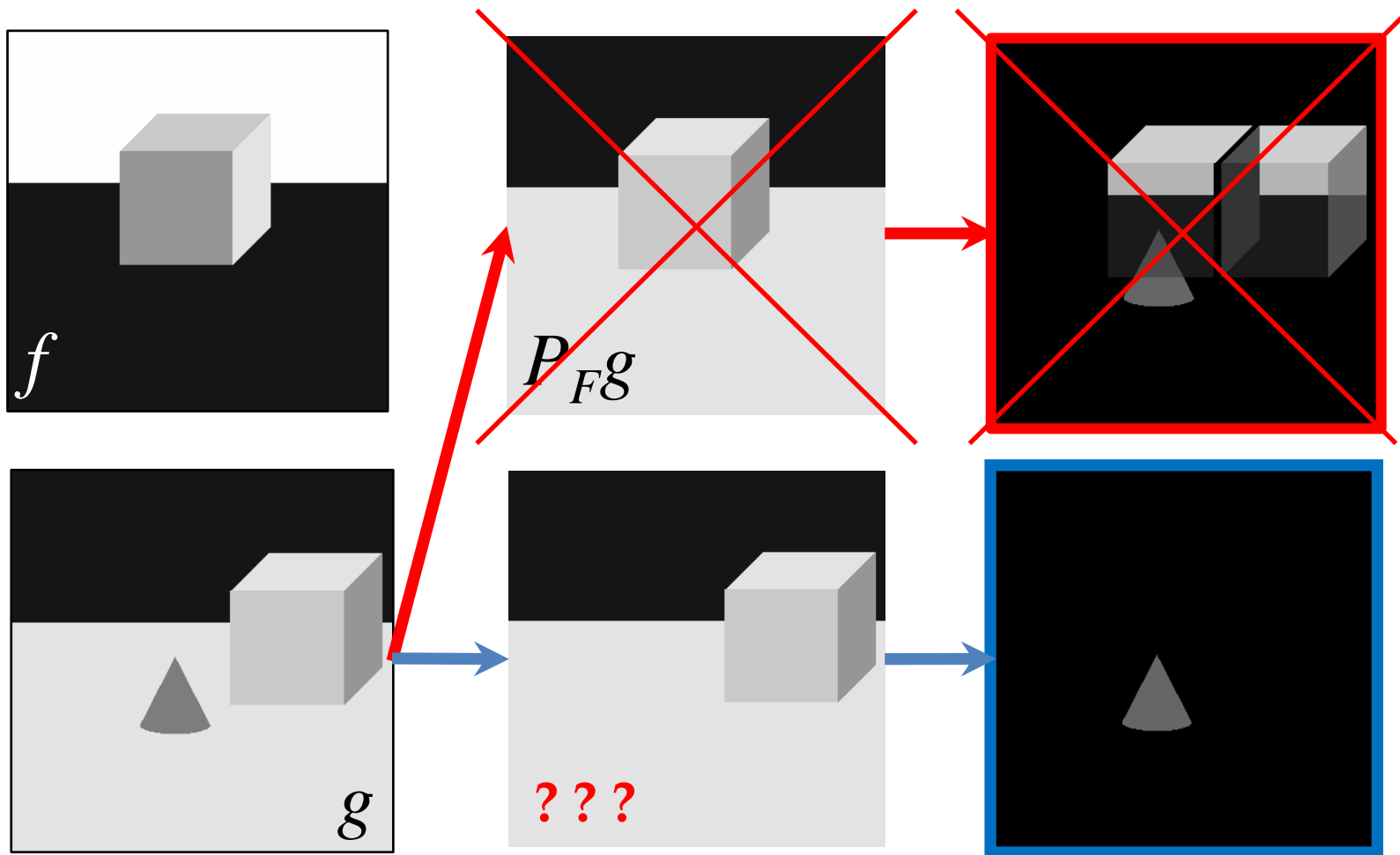


Проблема здесь в том, что мы сравниваем не с той формой!

На форме F нет конуса, но все объекты смещены.

Решение: нужно получить изображение, на котором конуса нет, но при этом все объекты на тех же местах, что и в форме G .

Как решить проблему?

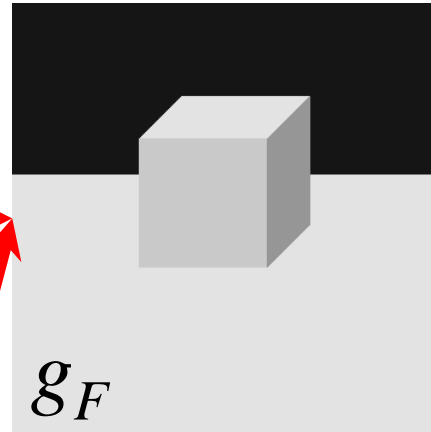
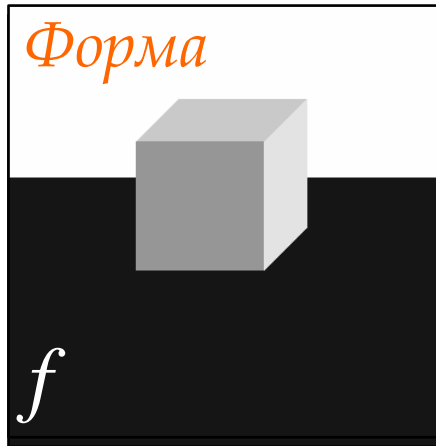


Решение: нужно получить изображение, на котором конуса нет, но при этом все объекты на тех же местах, что и в форме G .

Но как получить такое изображение?

Как решить проблему?

В два шага!

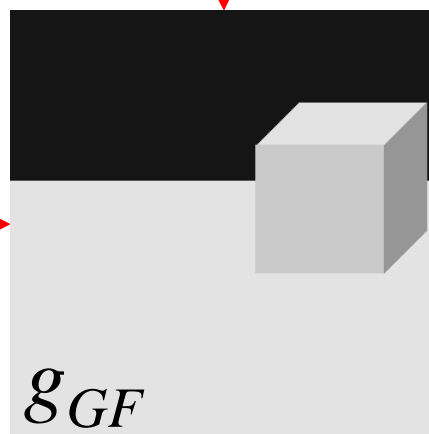
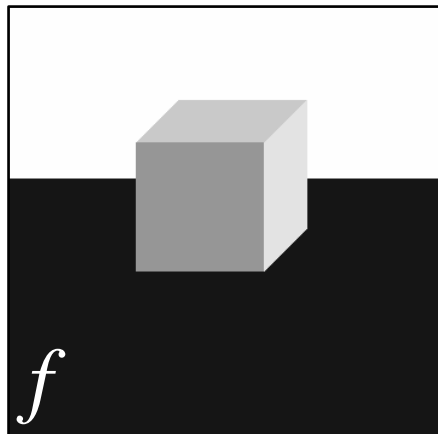


*Шаг 1. Результат
диффузной
фильтрации
изображения g
по форме F*

Требуется: получить изображение, на котором конуса нет, но при этом все объекты на тех же местах, что и в форме G .

Как решить проблему?

В два шага!

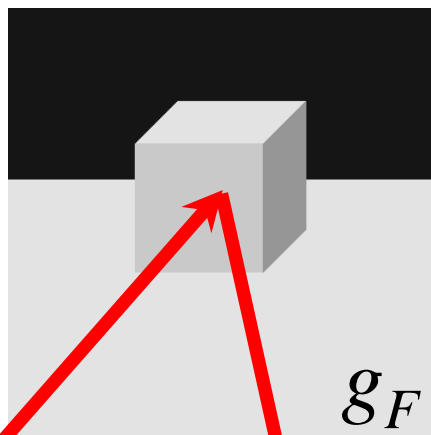
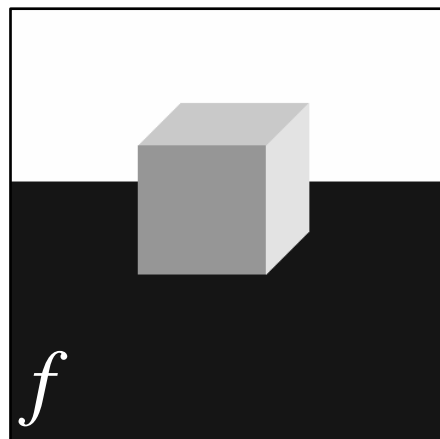


Шаг 1. Результат диффузной мозаичной фильтрации изображения g по форме F

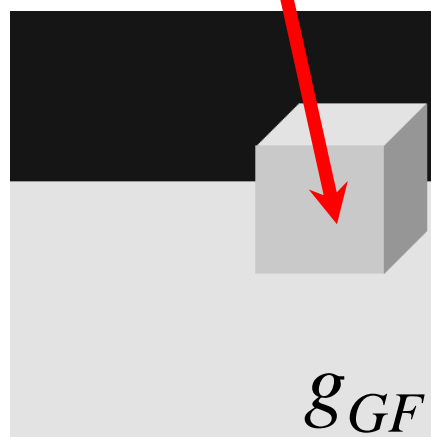
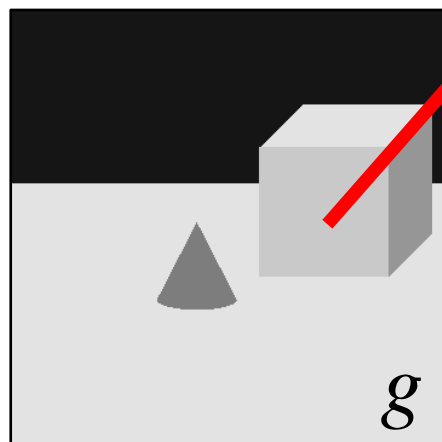
Шаг 2. Результат диффузной мозаичной фильтрации изображения g_F по форме G

Требуется: получить изображение, на котором конуса нет, но при этом все объекты на тех же местах, что и в форме G .

Референтная мозаичная диффузная фильтрация

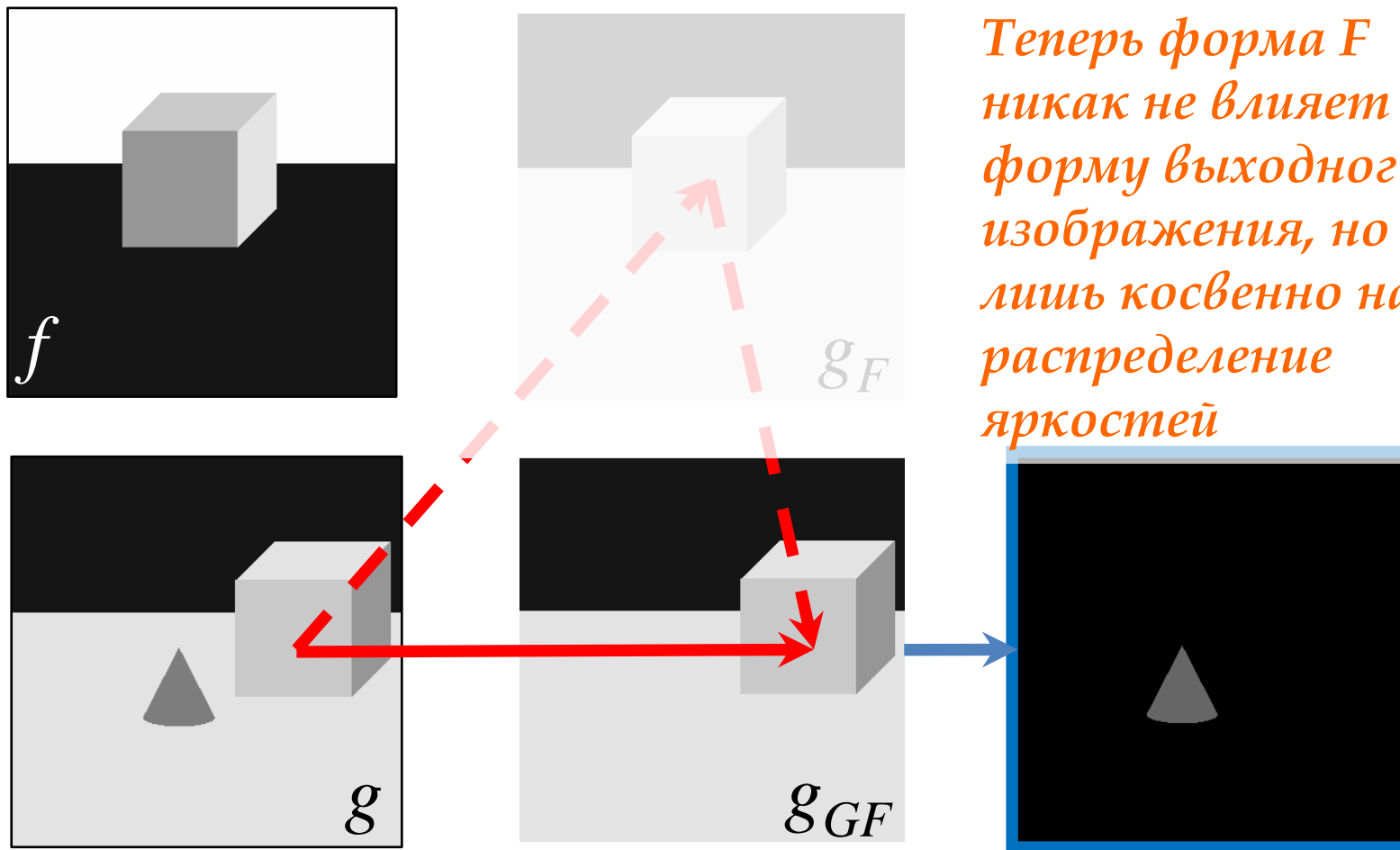


*Морфология:
«туда и обратно»*



Решение: референтный диффузный фильтр на основе суперпозиции мозаичных диффузных фильтров $P_{GF} = P_G P_F$.

Референтная мозаичная диффузная фильтрация



Термин «референтный» указывает здесь на то, что выходное изображение имеет ту же форму G , что и входное, а референтная форма F непосредственно в результате фильтрации не участвует, являясь лишь внутренним (справочным) параметром.

Алгоритм поиска отличий на изображениях с использованием референтных диффузных фильтров

- 1) Сегментировать изображение f на области постоянной яркости (т.е. описать его мозаичную форму F).
- 2) Сегментировать изображение g на области постоянной яркости (т.е. описать его мозаичную форму G).
- 3) Вычислить результат диффузной мозаичной фильтрации $g_F = P_F g$ формы F .
- 4) Вычислить результат диффузной мозаичной фильтрации $g_{GF} = P_{GF} g = P_G g_F$ формы G .
- 5) Вычислить модуль нормализованной разности изображений $| P_{GF} g - g |$.

Эксперименты по выделению отличий с использованием референтных фильтров

С чем будем сравнивать?



*Морфология
Пытьева:
«туда и обратно».*

*Суперпозиция
проекторов
(мозаичный
диффузный фильтр!)
вычисляется для
оценки ранга
корреляции между
формами*

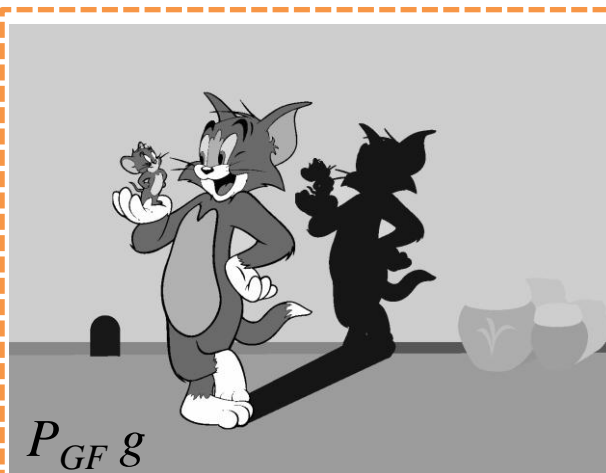
Пытьев Ю.П., Чуличков А.И. Методы морфологического анализа изображений // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 336с.

Эксперименты по выделению отличий с использованием референтных фильтров

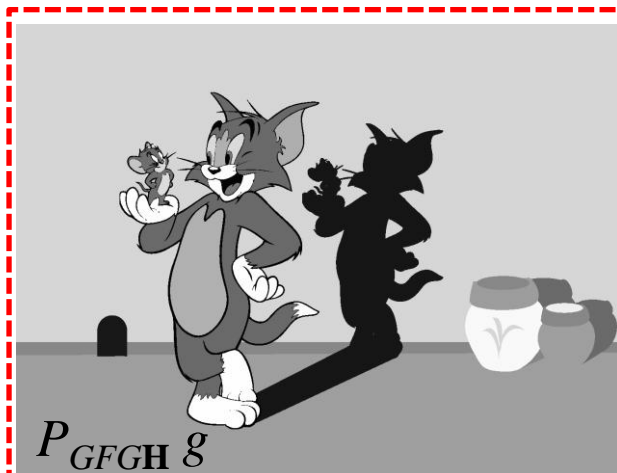
Геометрия сцены неизменна, добавлены новые объекты



Эталон



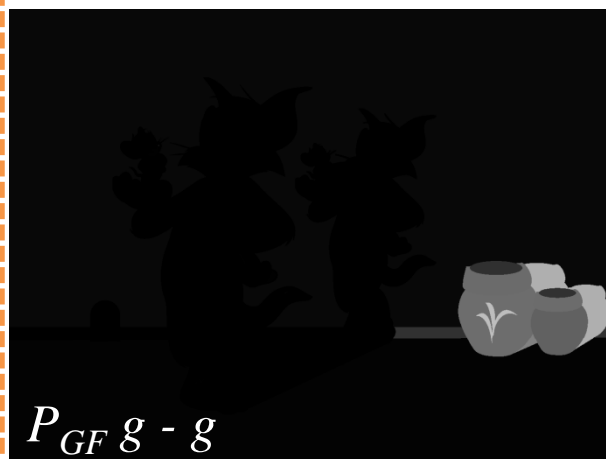
Суперпозиция проекторов



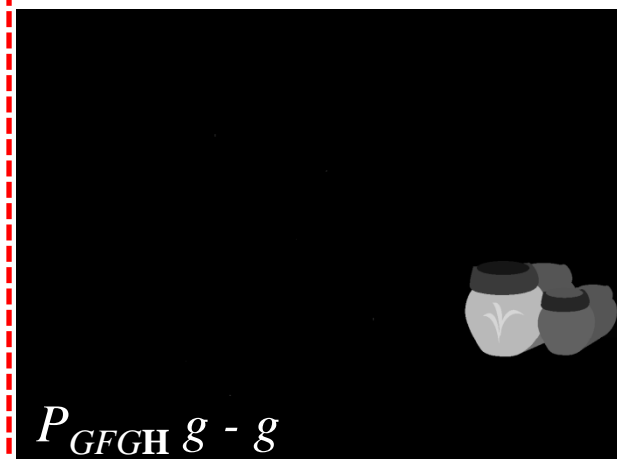
Референтный МДФ



Тестовое изображение



Нормализация фона



Нормализация фона

Эксперименты по выделению отличий с использованием референтных фильтров

Небольшой сдвиг объектов, добавлены новые объекты



Эталон



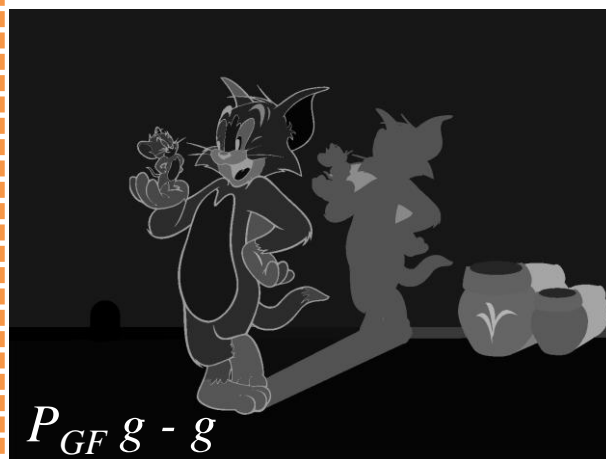
Суперпозиция проекторов



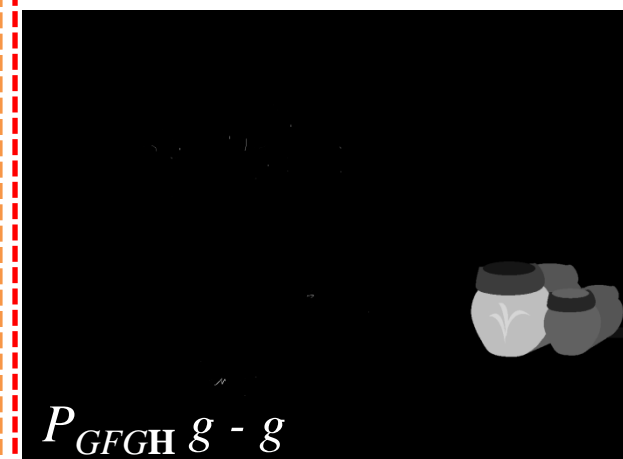
Референтный МДФ



Тестовое изображение



Нормализация фона



Нормализация фона

Эксперименты по выделению отличий с использованием референтных фильтров

Изменена геометрия сцены при сохранении ее состава



Эталон



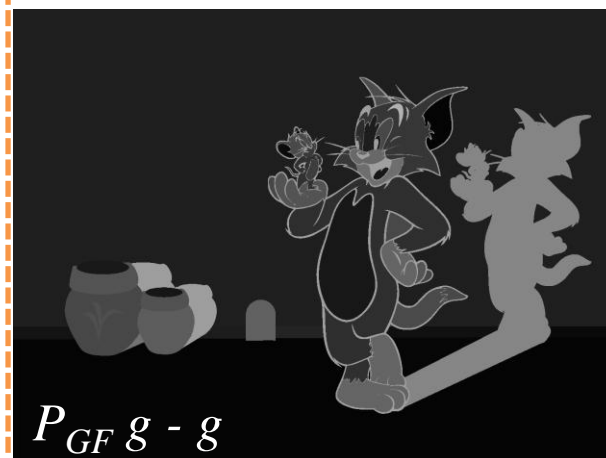
Суперпозиция проекторов



Референтный МДФ



Тестовое изображение



Нормализация фона



Нормализация фона

Эксперименты по выделению отличий с использованием референтных фильтров

Изменена геометрия сцены и добавлены новые объекты



Эталон



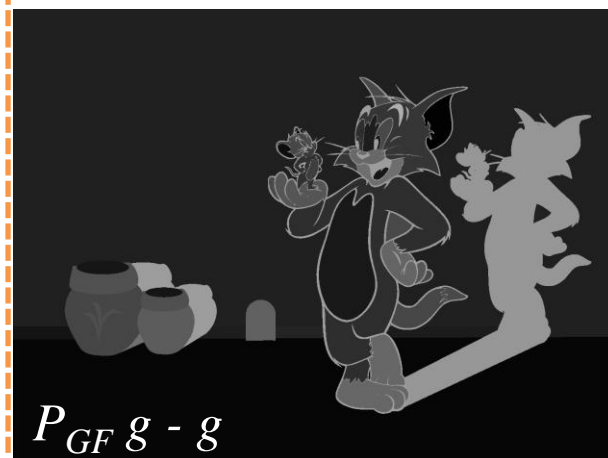
Суперпозиция проекторов



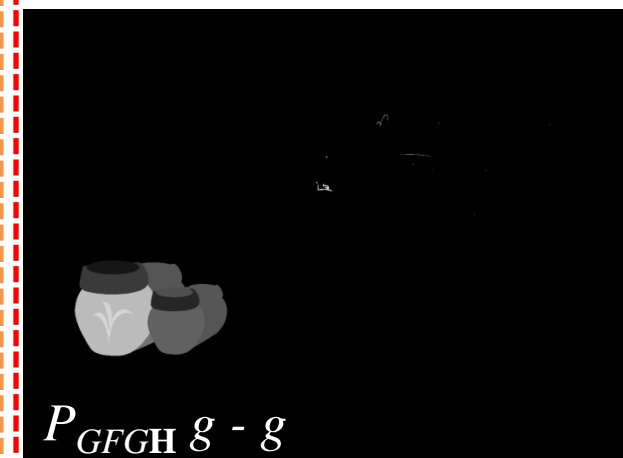
Референтный МДФ



Тестовое изображение



Нормализация фона



Нормализация фона

Пример создания мозаичных изображений из модельных

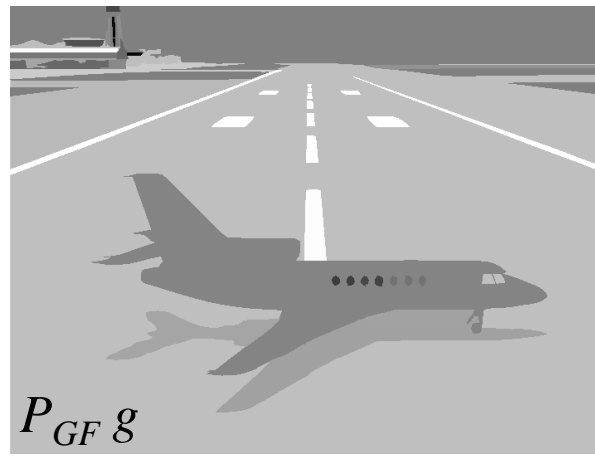


Эксперименты по выделению отличий с использованием референтных фильтров

Небольшой сдвиг объектов, добавлены новые объекты



Эталон



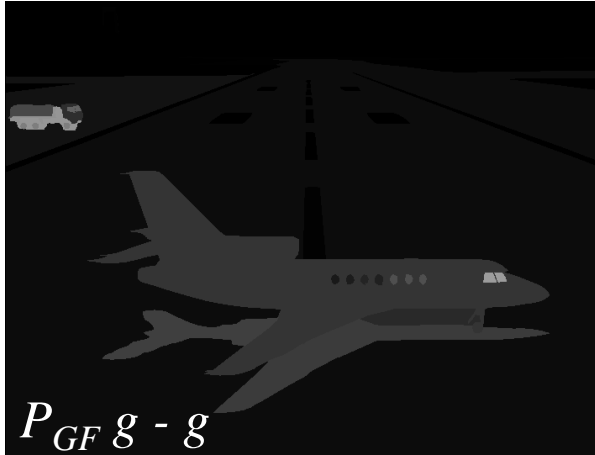
Суперпозиция проекторов



Референтный МДФ



Тестовое изображение

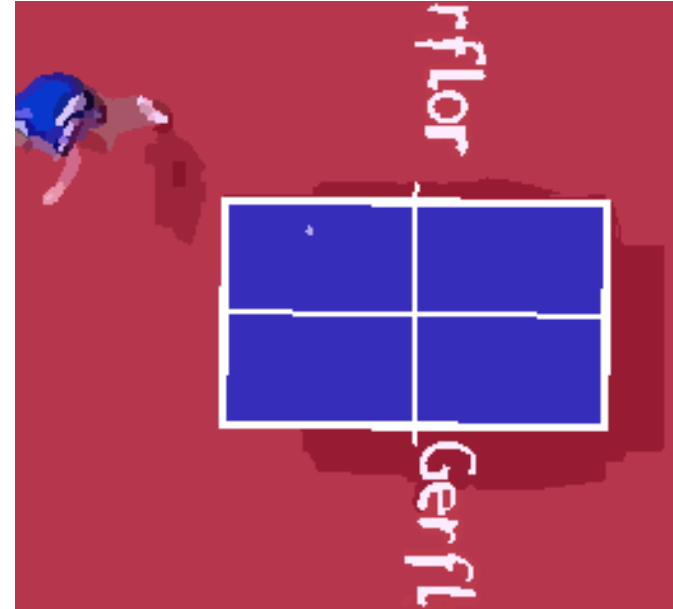
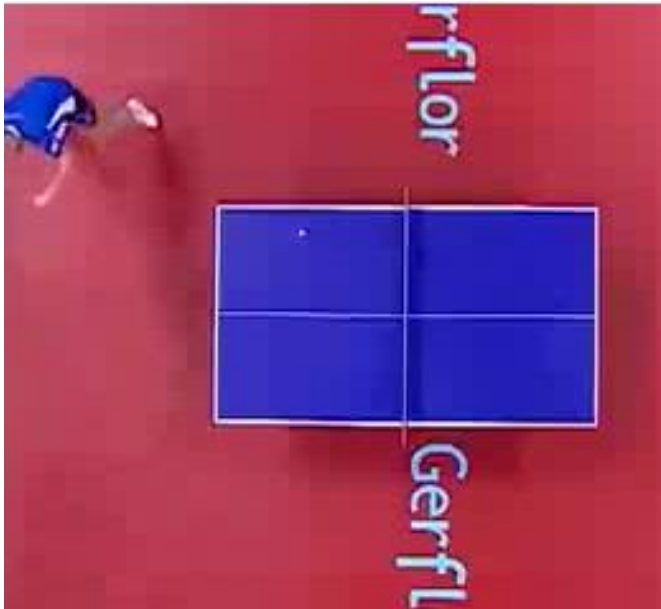
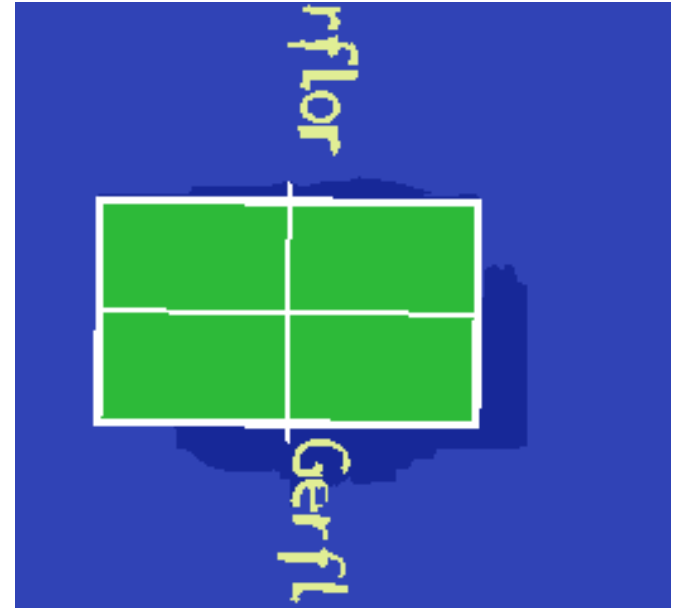
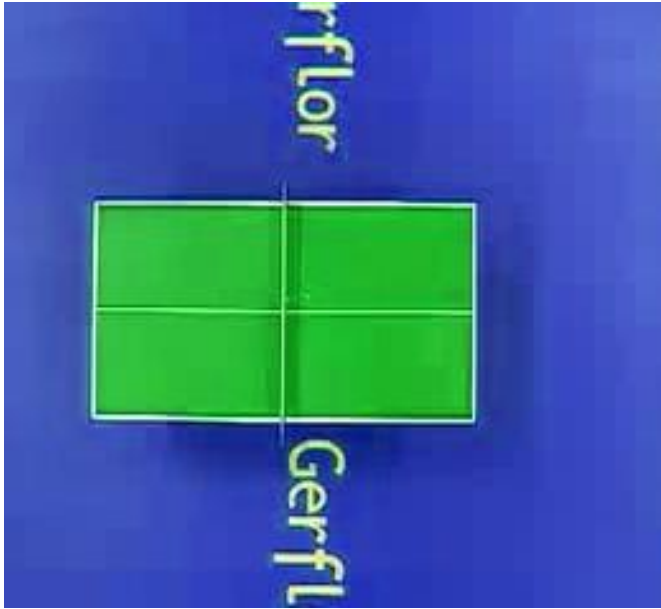


Нормализация фона

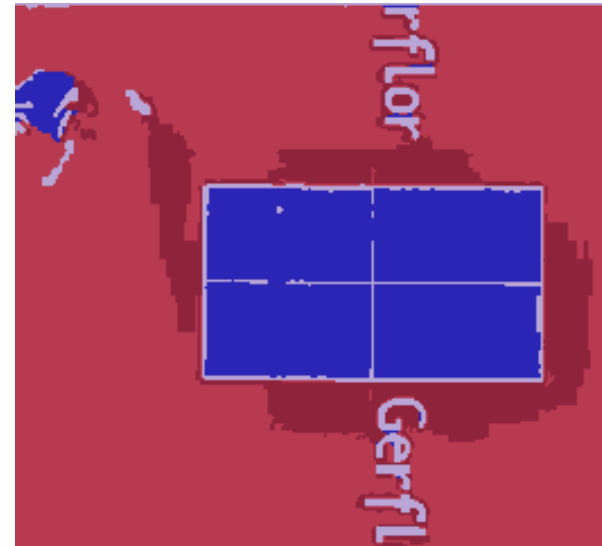
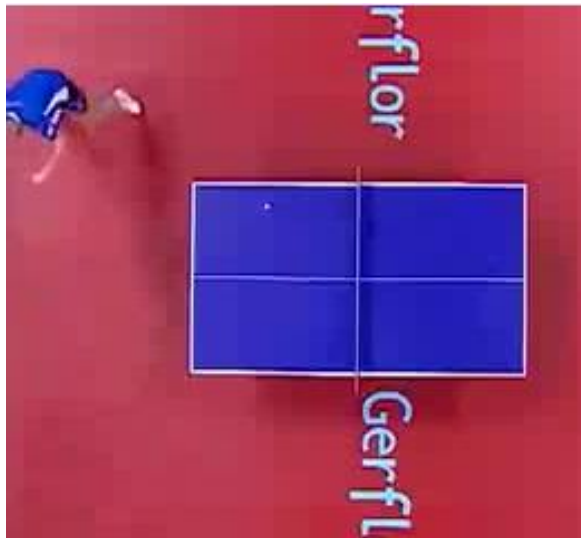
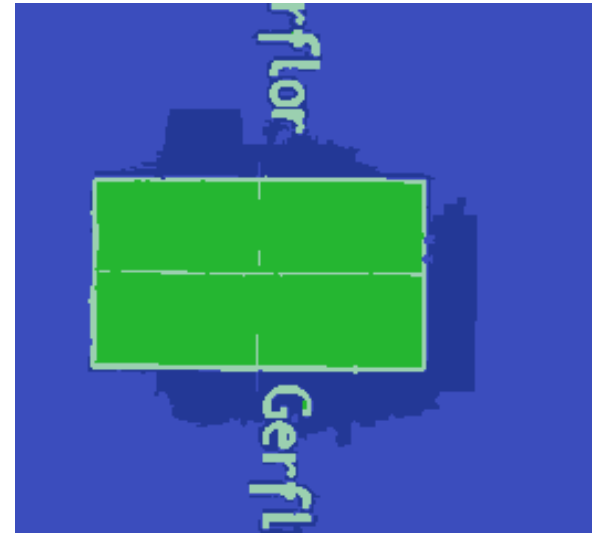
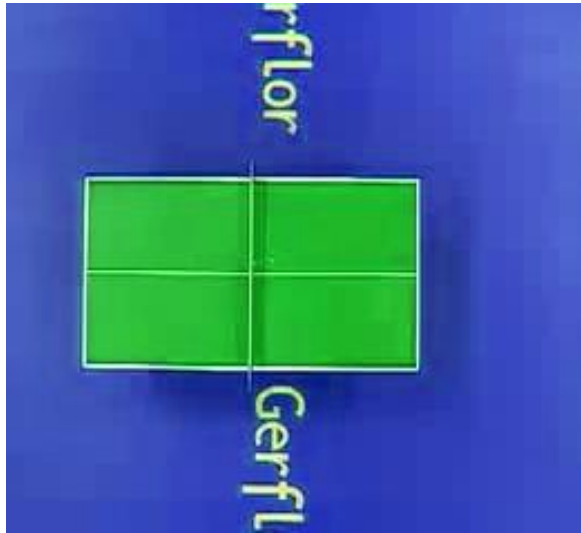


Нормализация фона

Пример создания мозаичных изображений из реальных



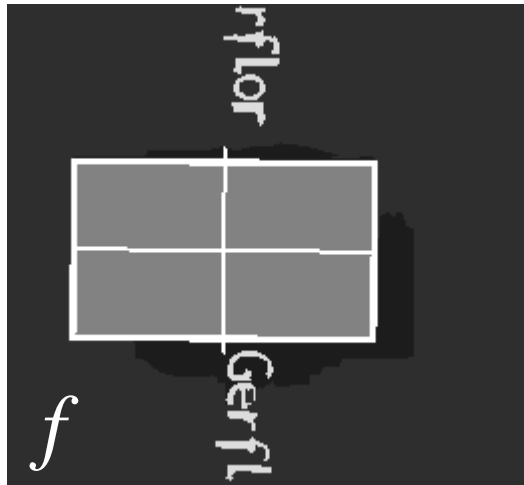
Пример создания мозаичных изображений из реальных



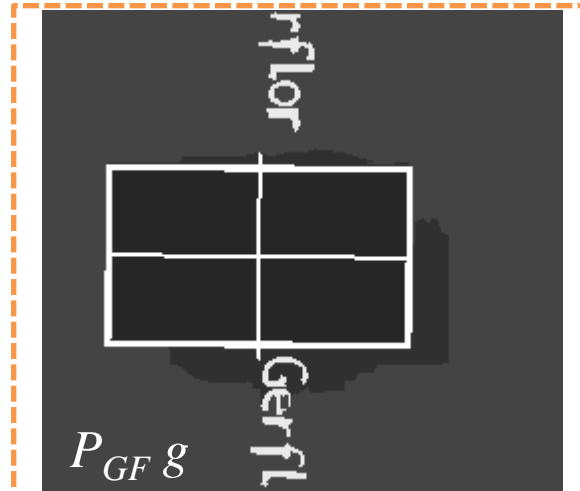
Харинов М.В. Верификация модели квазиоптимальной сегментации на примере составного изображения. ММРО-2015

Эксперименты по выделению отличий с использованием референтных фильтров

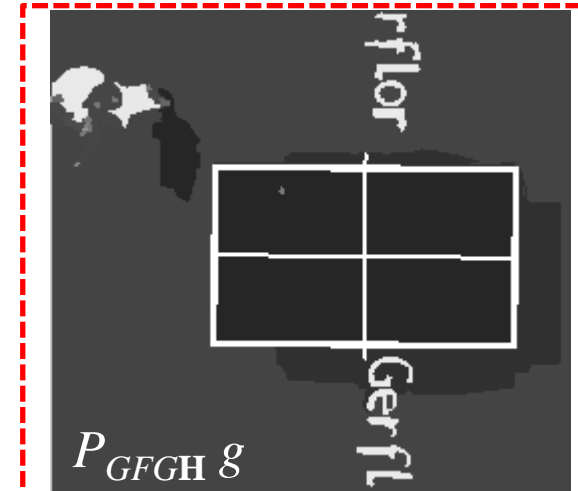
Геометрия сцены неизменна, добавлены новые объекты



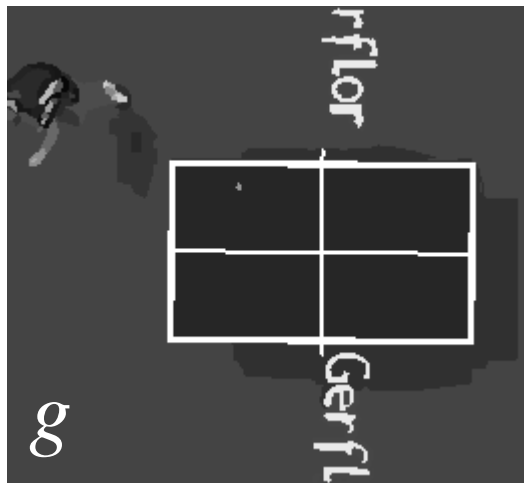
Эталон



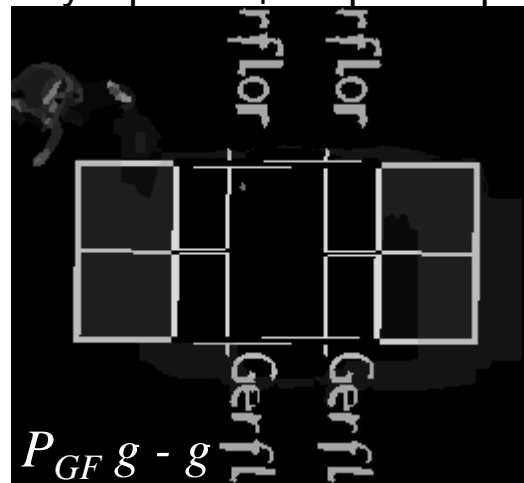
Суперпозиция проекторов



Референтный МДФ



Тестовое изображение



Нормализация фона



Нормализация фона

Заключение

- Рассмотрены две альтернативные трактовки морфологического проектора **Пытьева**, ведущие к двум разным способам понимания формы – «абсолютному» и «относительному». «Абсолютное» понимание формы основывается на связях между элементами эталонного изображения. «Относительное» или **«взаимное» понимание формы концентрируется на связях между элементами двух форм** и указывает, в чем именно заключается их сходство и различие друг по отношению к другу.
- **Диффузные взаимные мозаичные фильтры** определены на основе «взаимного» подхода к описанию формы как обобщение пытьевских проекторов мозаичных изображений.
- **Реализованы диффузные мозаичные фильтры, обладающие устойчивостью к яркостным и геометрическим изменениям сравниваемых изображений.**
- Предложены **референтные мозаичные фильтры**, представляющие собой суперпозицию двух взаимных проекторов или двух взаимных диффузных фильтров
- Реализовано и описано их **использование для решения задачи выделения изменений в наблюдаемой сцене.**
- Показано, что референтные диффузные фильтры **обладают устойчивостью к яркостным и геометрическим изменениям сравниваемых изображений.**

Спасибо за внимание!