

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Электронные вычислительные машины»

Разработка и исследование алгоритма сглаживания цветных изображений, основанного на анализе градиентов

Автор: Моисеев Илья Юрьевич
студент группы КЭ-405, кафедры ЭВМ, ВШЭКН, ЮУрГУ

Научный руководитель: Ярош Елена Семёновна к.т.н., доцент

Актуальность

Цель сглаживания – улучшение качества изображения, выявление его структуры с помощью устранения незначительных деталей, и сохранения при этом общей структуры изображения.



Низкоуровневые применения:

- сегментация;
- выделение контуров;
- борьба с шумом;
- улучшение изображений.

Высокоуровневые применения:

- вычислительная фотография;
- компьютерная графика.



Цели и задачи

Целью данной работы является разработка алгоритма сглаживания цветных изображений для задачи сглаживания с учетом границ на основе анализа компонент градиента.

В рамках данной работы поставлены **задачи**:

- провести обзор родственных разработок – работ, предлагающих решения задачи сглаживания с учетом границ
- разработать такой дескриптор, который позволил бы настраивать веса фильтра в зависимости от вида границы в окрестности
- провести эксперименты, сравнив результаты с существующими и определив область применимости метода

Обзор родственных работ: две категории подходов

Явные

Основаны на фильтрации, статистика от окрестности пикселя

Неявные

Основаны на решении задачи оптимизации

Обзор родственных работ: явные МЕТОДЫ

Основаны на операции
пространственной свёртки с ядром

$$(w \star f)(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x - s, y - t)$$

- Более быстрые;
- лучше сглаживают детали;
- хуже сохраняют границы;
- могут производить артефакты.

Обзор родственных работ: неявные методы

Основаны на решении задачи оптимизации. К ним же относится большинство методов, основанных на машинном обучении

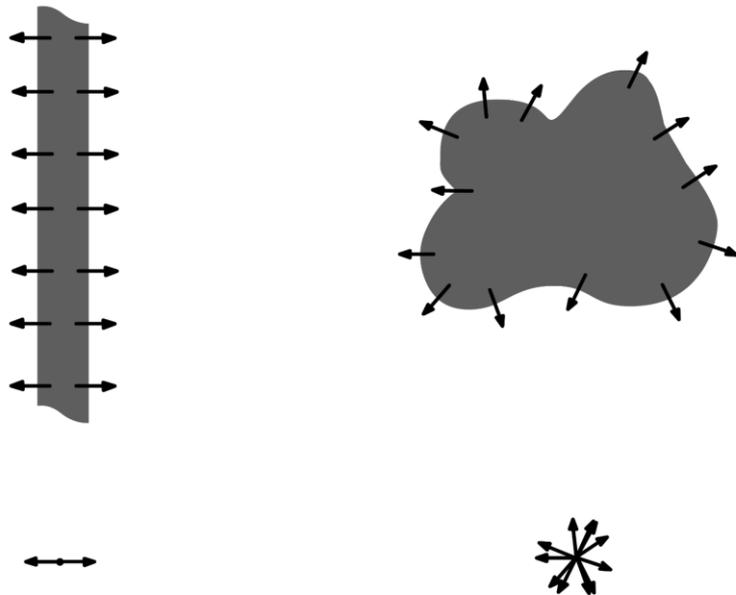
$$E(S) = E_d(S, I) + \lambda E_v(S)$$

- Работают медленнее;
- хуже сглаживают мелкие детали;
- лучше сохраняют границы;
- сглаживание как правило более качественное.

Предлагаемый метод

Предлагаемый метод основан на дескрипторе, позволяющем отличать друг от друга границы и текстуры на изображении с помощью градиентов.

Принадлежит к категории **явных**.



Предлагаемый метод

Формула весов:

ϑ_p и ϑ_q - углы градиентов центрального пикселя и текущего,

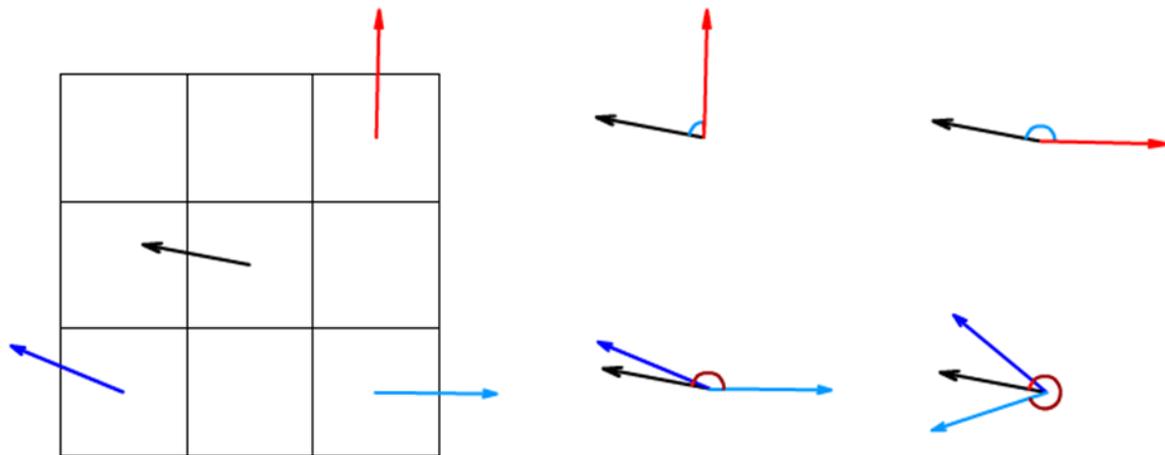
α - длина градиента текущего пикселя.

$$w(p, q) = (\cos 2(\vartheta_p - \vartheta_q) + 1) / \alpha$$

Предлагаемый метод

Причина удвоения углов градиентов.

Градиенты в окрестности Разница углов Разница углов после удвоения



Результаты экспериментов

С помощью разработанной реализации были получены результаты сглаживания с различными параметрами: размером окна и количеством последовательных применений.



(a)



(c)

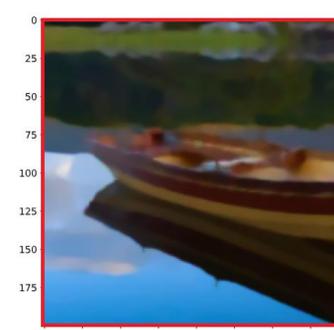
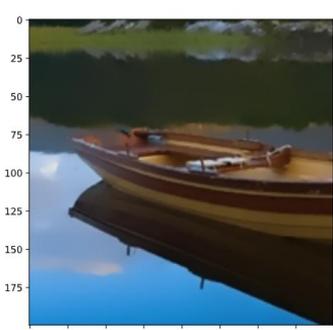
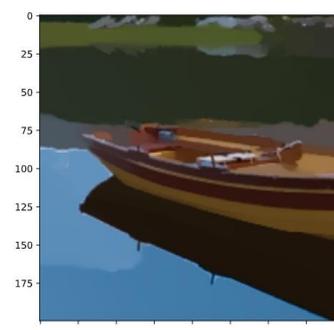
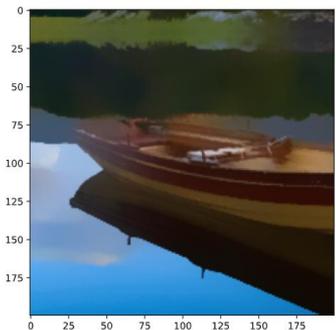
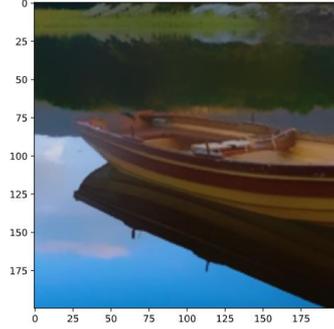
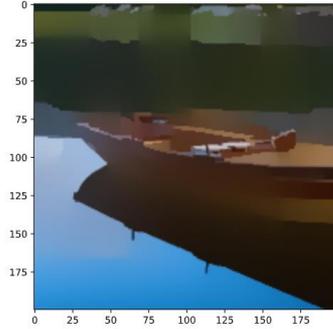
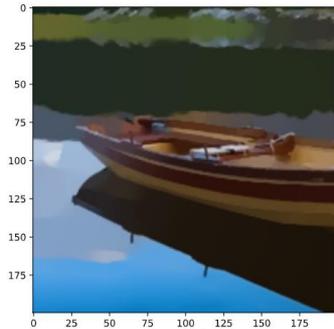
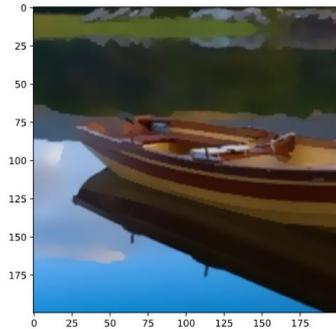
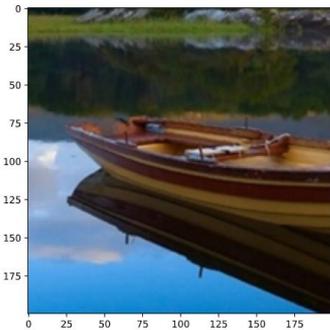


(b)



(d)

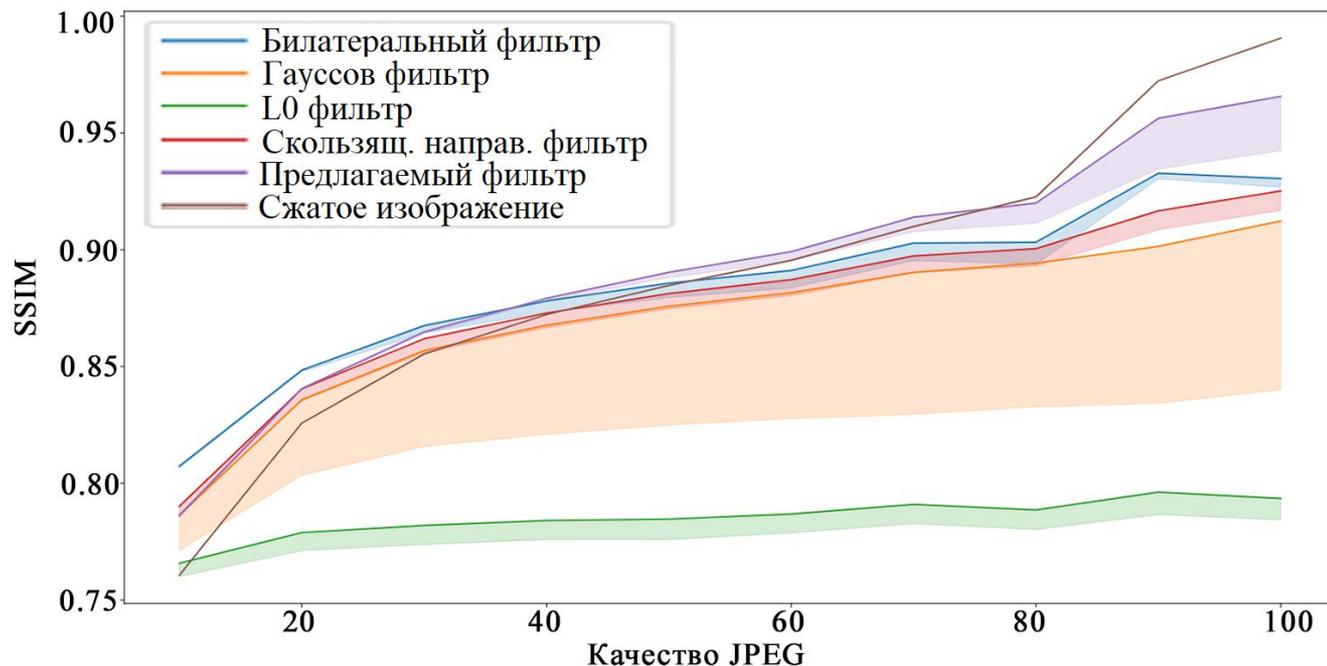
Результаты экспериментов: сравнение



Результаты экспериментов: сравнение

Сравнение на задаче сглаживания артефактов сжатия.

Метрика SSIM – структурная схожесть.



$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + (0.01 * MAX)^2)(2\sigma_{xy} + (0.03 * MAX)^2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + (0.01 * MAX)^2)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + (0.03 * MAX)^2)}$$

Результаты экспериментов: сравнение

Бенчмарк для сглаживания
изображений (2019)



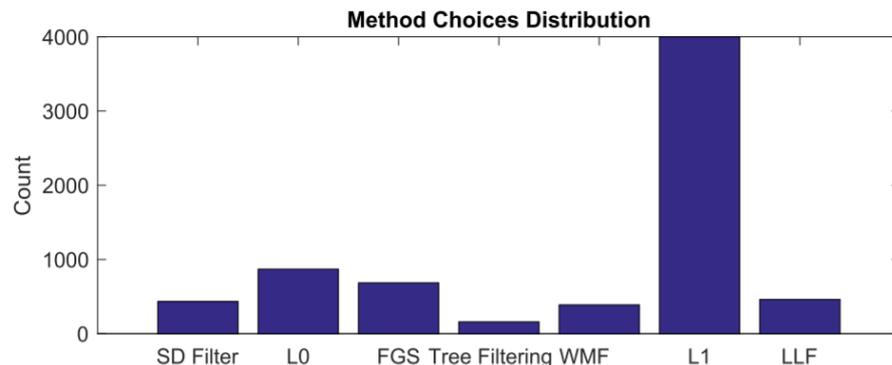
SD Filter – Robust guided filter using nonconvex potentials

FGS - Fast Global Smoother

WMF – Weighed Median Filter

LLF – Local Laplacian Filter

L0, L1 – L0, L1 smoothing



(a) Vote distribution among different algorithms

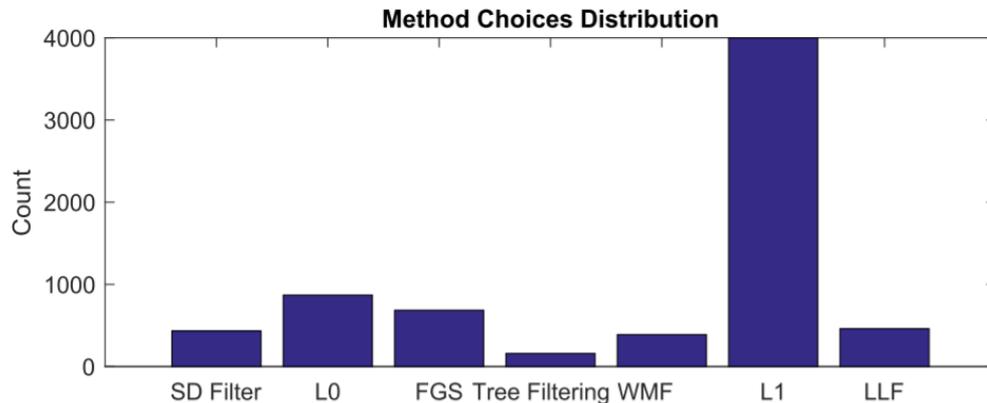
Результаты экспериментов: сравнение

Используемые метрики:

$$WRMSE = \left(\frac{\sum_t \sum_{i,j} \sum_{k=1}^5 w_{t,k} \|F(x^t)_{i,j} - Y_{i,j}^{t,k}\|^2}{\sum_t \sum_{i,j}} \right)$$

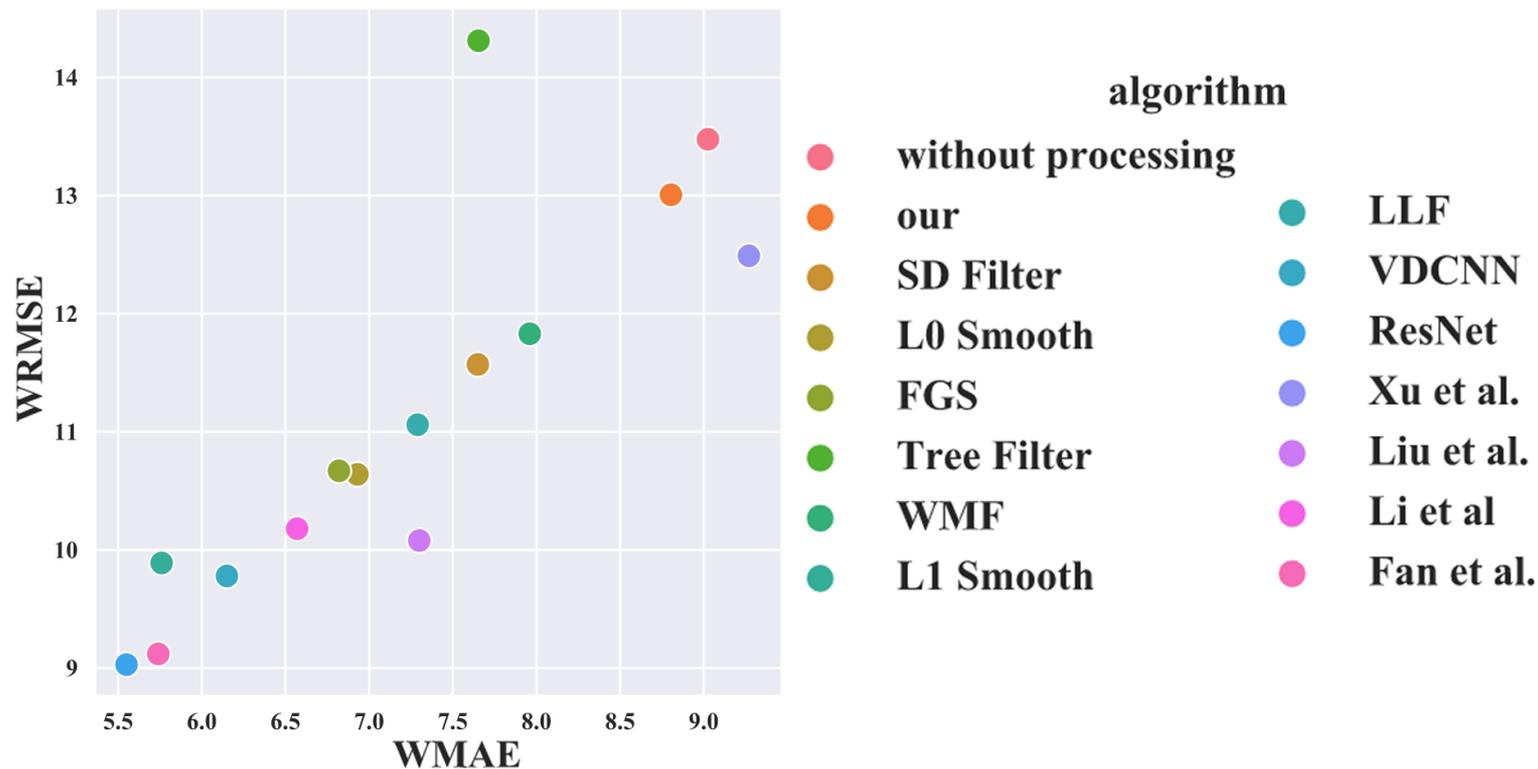
$$WMAE = \frac{\sum_t \sum_{i,j} \sum_{k=1}^5 w_{t,k} \|F(x^t)_{i,j} - Y_{i,j}^{t,k}\|_1}{\sum_t \sum_{i,j}}$$

$$w_{t,k} = \frac{\text{count}(Y^{t,k})}{\sum_{k=1}^5 Y^{t,k}}$$



(a) Vote distribution among different algorithms

Результаты экспериментов: сравнение



Заключение

В рамках работы был разработан алгоритм сглаживания изображений на основе анализа компонент градиента, позволяющий отличать регулярные границы от нерегулярных.

Наилучшим применением было признано **сглаживание артефактов сжатия**.

Среди недостатков можно выделить подверженность градиента шуму.

Последующие разработки предполагаются в сторону итеративной работы и нахождения более устойчивого дескриптора границ.

Заключение

На тему выпускной работы были опубликованы следующие научные работы:

- Статья «Image Smoothing Algorithm Based on Gradient Analysis» по итогам конференции IEEE USBEREIT в мае 2020 года
- Статья «О свойствах алгоритма сглаживания цветных изображений на основе анализа градиента» для журнала Вестник ЮУрГУ, Серия «Вычислительная математика и информатика»

ИСТОЧНИКИ

1. Gonzalez, R.C. **Digital Image Processing** / R.C. Gonzalez, R.E. Woods – New York: Pearson, – 2018. – 1022 p.
2. Tomasi, C. **Bilateral filtering for gray and color images** / C. Tomasi, R. Manduchi // Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. – 1998. – P. 839–846.
3. Xu, L. **Image smoothing via L0 gradient minimization** / L. Xu, C. Lu, Y. Xu, J. Jia // ACM Transactions on Graphics. – 2011. – N^o 30(6). – P. 1–12.
4. Zhu, F. **A benchmark for edge-preserving image smoothing** / F. Zhu, Z. Liang, X. Jia, L. Zhang, Y. Yu // IEEE Transactions on Image Processing. – 2019. – N^o 7(28). – P. 3556–3570.