

Разработка системы обработки и улучшения качества изображений – проблемы, пути решения и экономический аспект реализации

А. В. Плешингер, С. А. Зори, А. В. Боднар

Донецкий национальный технический университет
кафедра программной инженерии им. Л.П.Фельдмана

Email: apleshinger@mail.ru, ik.ivt.rec@mail.ru, linabykova13@ya.ru

Аннотация

В статье проведен анализ наиболее распространенных проблем в области обработки изображений. Предложена модель системы обработки и улучшения качества изображений, содержащая модифицированные методы обработки изображений. Проведен анализ потенциальной экономической эффективности системы, рассмотрен процесс планирования разработки системы, проведен расчет итоговой стоимости разработки.

Введение

В настоящее время наблюдается интенсивный рост объема подлежащих анализу визуальных данных. Эта тенденция охватывает множество областей человеческой деятельности: производство, медицину, образование, аэрокосмическую и транспортную отрасли, системы безопасности и т.д. [1] Вопрос обработки и улучшения качества используемой в процессе работы фото- и видеoinформации становится для этих отраслей ключевым. Более того, анализ визуальных данных влияет не только на непосредственный результат работы, но и, — в конечном итоге — на экономические показатели отрасли деятельности.

Цель данной статьи — провести анализ процесса разработки системы обработки и улучшения качества изображений, выявить проблемы, решаемые в данной предметной области, определить пути их решения, а также рассмотреть экономический аспект реализации подобной системы.

Анализ распространенных визуальных артефактов и методов их устранения

Наиболее распространенной проблемой в обработке фото- и видеoinформации является шумоподавление. [2] Шум может возникнуть в любой системе регистрации изображений — от медицинских томографов до спутниковых камер и промышленных сенсоров. Причины также разнообразны: тепловые процессы, низкая освещённость, помехи, ошибки передачи данных и т.д. Классическим способом устранения шума на изображениях является процесс фильтрации. Методов фильтрации существует множество, какой из них нужно использовать в каждом конкретном случае, зависит от типа шума. [3] Можно выделить следующие виды фильтрации: линейное усреднение пикселей, медианная фильтрация, математическая морфология,

гауссовское размытие, методы на основе вейвлет-преобразования, метод главных компонент, анизотропная диффузия, фильтры Винера. [4]

Еще одним распространенным визуальным дефектом является размытие [5], которое может возникнуть при движении камеры или объекта съемки, неправильной фокусировке, вибрациях камеры. Методы решения проблемы размытия можно сгруппировать в 3 основные категории. Классические методы решают задачу как инверсную проблему: используют деконволюцию (фильтр Винера, алгоритм Люси-Ричардсона), регуляризацию (регуляризация Тихонова, регуляризация полной вариации) и работу с априорными свойствами изображений, но плохо справляются со сложным, пространственно-неоднородным размытием. Глубинные методы (сверточные нейронные сети (CNN), U-Net, GAN-модели, автоэнкодеры, рекуррентные сети) устраняют размытие напрямую, без явного восстановления ядра, и показывают значительно более высокое качество, особенно в условиях сильного движения, смешанного типа размытия и динамических сцен. Гибридные подходы объединяют деконволюцию и нейросети: сначала выполняют частичное восстановление в частотной области, затем используют CNN для подавления артефактов, либо встраивают обучаемые модули в итеративные оптимизационные схемы.

Артефакты сжатия возникают из-за квантования, блочного кодирования и потери высокочастотных компонент, что приводит к блочности и размытию [6]. Классические методы устраняют артефакты сжатия с помощью пространственной фильтрации (линейной, нелинейной, адаптивной) и частотных преобразований (DCT-фильтрации, вейвлет-анализа, FFT-фильтрации), но ограничены в восстановлении деталей. Современные CNN-подходы (ARCNN, DnCNN, DCSC, RDN) обучаются восстанавливать

изображение напрямую и обеспечивают высокое качество. Ключевым направлением исследований в этой области является достижение лучшего баланса между качеством и вычислительной сложностью.

Важной задачей обработки изображений является суперразрешение (восстановление изображения высокого разрешения из его низкоразрешенного аналога). Этот метод активно применяется в таких сферах, как видеонаблюдение, медицинская визуализация, спутниковые снимки и обработка мультимедиа [7]. Интерполяционные методы работают быстро, но не восстанавливают мелкие детали и часто дают размытый результат. Нейросетевые методы (SRCNN, EDSR, RCAN, ESRGAN, SwinIR) обучаются восстанавливать детали на больших наборах данных, обеспечивают наилучшее качество и реалистичность, но требуют значительных вычислительных ресурсов и могут порождать артефакты при неправильном обучении.

Предлагаемое решение

Предлагаемая система обработки изображений должна быть ориентирована на решение четырех самых распространенных задач обработки изображений, рассмотренных ранее: шумоподавление, устранение размытия и артефактов сжатия, суперразрешение. В базовой версии программного проекта предлагается реализовать четыре модифицированных метода (по одному для каждой задачи), при этом выбранные методы должны быть достаточно универсальными, чтобы использоваться в максимально широком спектре прикладных областей.

Для решения задачи шумоподавления предлагается разработать улучшенный билатеральный фильтр с адаптивными параметрами, опирающийся на локальную структуру изображения и не зависящий от конкретного типа шума.

Для устранения размытия предлагается использовать модифицированный алгоритм Люси-Ричардсона с адаптивной регуляризацией, позволяющий корректировать степень восстановления в зависимости от локальных особенностей изображения. Такой подход предотвращает усиление визуальных артефактов и обеспечивает устойчивое восстановление резкости в широком спектре задач.

Для устранения артефактов сжатия предлагается разработать гибридный метод, сочетающий адаптивную фильтрацию в DCT-домене (домен дискретного косинусного преобразования) и пространственную коррекцию с учётом границ. На первом этапе выполняется анализ блоков и адаптивное сглаживание коэффициентов DCT в областях, где выражены

блочные артефакты. На втором этапе применяется пространственный фильтр, корректирующий остаточные искажения и восстанавливающий границы. Такой подход не зависит от конкретной реализации алгоритма сжатия и подходит для большинства изображений, содержащих артефакты блочного DCT-кодирования.

Для решения задачи суперразрешения предлагается использовать гибридный метод, основанный на сочетании классического апскейла, вейвлет-коррекции и адаптивной постобработки. На первом этапе выполняется увеличение изображения с помощью интерполяции (например, методом Ланцоша), затем используется вейвлет-анализ для восстановления высокочастотных структур, а завершающий этап адаптивной коррекции усиливает детали в текстурных областях и подавляет шум в однородных.

Выбор этих методов для модификации обусловлен их предсказуемостью, результативностью, гибкостью параметризации, а также тем, что они не требуют больших вычислительных ресурсов — что может стать критическим фактором для массовости и доступности создаваемого продукта.

Экономическое обоснование разработки системы обработки и улучшения качества изображений

В работе [8] рассматривается экономическое обоснование внедрения автоматической оценки качества с отсеиванием заведомо дефектных изображений, что приводит к сокращению объёма дорогостоящей ручной проверки. Математические расчеты можно адаптировать с учетом того, что предлагаемая система предполагает не отсеивание изображений, а их обработку и улучшение с помощью модифицированных методов.

Количество качественных изображений после обработки можно рассчитать по формуле:

$$N_{\text{Кач}} = N_{\text{Исх}} * ((P_{\text{Кач}} + (1 - P_{\text{Кач}}) * P_{\text{Усп}}), \quad (1)$$

где $N_{\text{Исх}}$ — количество исходных изображений; $P_{\text{Кач}}$ — доля качественных изображений среди исходных (без обработки); $P_{\text{Усп}}$ — доля изображений с дефектами, которые система улучшила успешно.

Существует некоторая вероятность того, что часть изображений не сможет быть улучшена системой и потребует доработки (ручной или программной). Количество таких изображений можно рассчитать по формуле:

$$N_{\text{Дораб}} = N_{\text{Исх}} * (1 - P_{\text{Кач}}) * (1 - P_{\text{Усп}}). \quad (2)$$

Без использования системы все изображения должны были бы подвергаться

ручной обработке. В формуле (3) представлен расчет расходов на такой базовый сценарий:

$$C_{\text{Баз}} = N_{\text{Исх}} * c_{\text{Исх}} + N_{\text{Исх}} * (1 - P_{\text{Кач}}) * c_{\text{Дораб}}, \quad (3)$$

где $c_{\text{Исх}}$ — стоимость получения исходного изображения; $c_{\text{Дораб}}$ — стоимость доработки одного изображения.

Стоимость обработки изображений через систему можно рассчитать по следующей формуле:

$$C_{\text{Сист}} = N_{\text{Исх}} * c_{\text{Исх}} + N_{\text{Исх}} * c_{\text{Обраб}} + N_{\text{Исх}} * (1 - P_{\text{Кач}}) * (1 - P_{\text{Усп}}) * c_{\text{Дораб}}, \quad (4)$$

где $c_{\text{Обраб}}$ — стоимость обработки системой одного изображения.

Экономия средств можно выразить формулой:

$$\Delta C = C_{\text{Баз}} - C_{\text{Сист}} = N_{\text{Исх}} * ((1 - P_{\text{Кач}}) * P_{\text{Усп}} * c_{\text{Дораб}} - c_{\text{Обраб}}). \quad (5)$$

Экономия возникает, если $(1 - P_{\text{Кач}}) * P_{\text{Усп}} * c_{\text{Дораб}} > c_{\text{Обраб}}$ (6), то есть если стоимость успешно обработанных системой изображений превышает стоимость ручной обработки всех изображений.

Приведем пример расчета экономии средств, используя экспериментальные данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1 - Экспериментальные данные

Параметр	Значение	Описание параметра
$N_{\text{Исх}}$	10000	Количество обрабатываемых изображений в месяц
$P_{\text{Кач}}$	0,3	Процент качественных исходных изображений (не требующих обработки)
$P_{\text{Усп}}$	0,6	Процент изображений, которые система обработает успешно
$c_{\text{Исх}}$	50 руб.	Стоимость получения одного изображения
$c_{\text{Обраб}}$	5 руб.	Стоимость обработки одного изображения предлагаемой системой
$c_{\text{Дораб}}$	200 руб.	Стоимость доработки одного изображения

$$C_{\text{Баз}} = 10000 * 50 + 10000 * (1 - 0,3) * 200 = 1900000$$

$$C_{\text{Сист}} = 10000 * 50 + 10000 * 5 + 10000 * (1 - 0,3) * (1 - 0,6) * 200 = 1110000$$

$$\Delta C = 1900000 - 1110000 = 790000$$

По результатам расчетов, основанных на экспериментальных данных, экономия составила 41,58 %.

Планирование процесса разработки системы

Планирование процесса разработки системы можно осуществить с помощью построения сетевого графика, который является частью метода критического пути. Благодаря этому методу можно определить оптимальный по временным затратам путь разработки проекта.

При построении сетевого графика на специальных карточках отображается информация о временных ограничениях, которым должна удовлетворять каждая задача. Ключевыми данными в этом случае являются: наименование задачи, длительность ее выполнения, раннее начало и раннее окончание выполнения задачи, позднее начало и позднее окончание выполнения задачи, а также резерв времени (разница между поздним и ранним началом или поздним и ранним окончанием задачи). Критическим путем называется путь, в котором резерв времени для каждой задачи равен нулю.

Описание этапа разработки на сетевом графике показано на рисунке 1.

Раннее начало	Длительность	Раннее окончание
Наименование задачи		
Позднее начало	Резерв времени	Позднее окончание

Рисунок 1 — Описание этапа разработки на сетевом графике

Задачи могут выполняться как последовательно (одна за другой), так и параллельно. В случае параллельного выполнения некоторых задач достигается сокращение времени разработки программного продукта. После анализа этапов разработки был составлен параллельный сетевой график разработки проекта, показанный на рисунке 2. Критический путь выделен красным цветом.

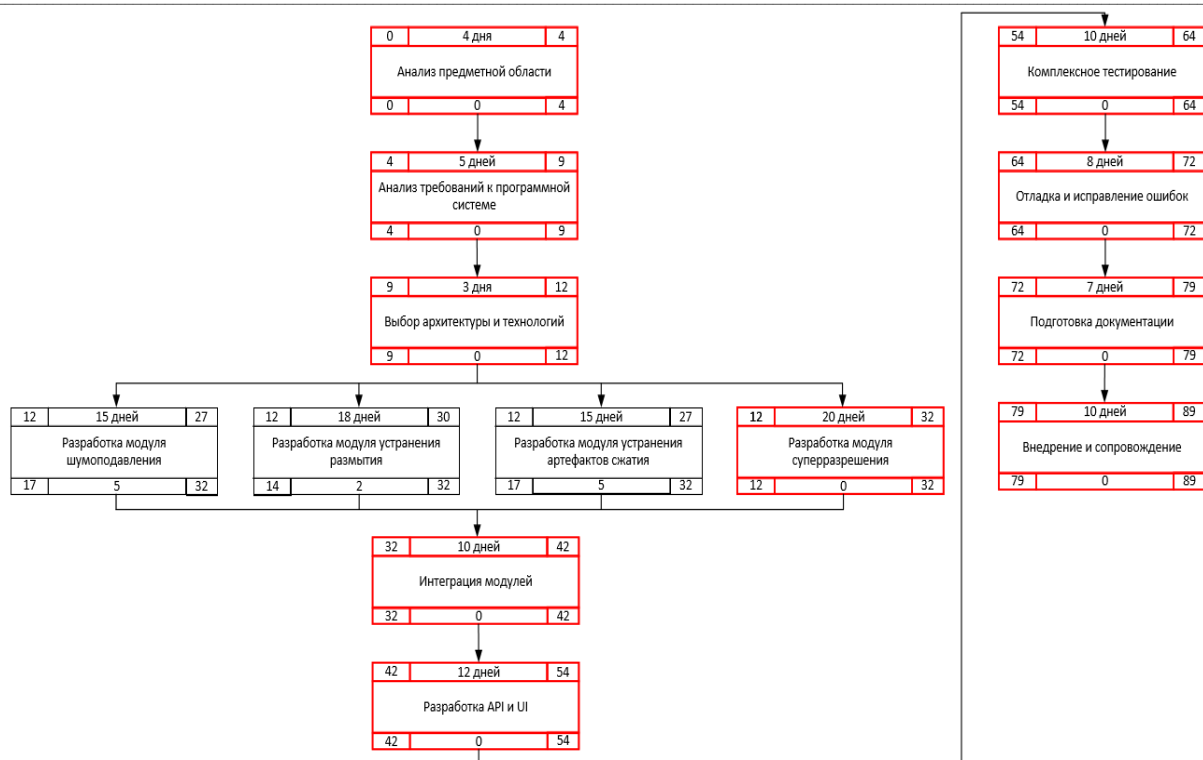


Рисунок 2 — Параллельный сетевой график разработки проекта

Время разработки при параллельном выполнении этапов составило 89 дней. При последовательном выполнении этапов разработка заняла бы 137 дней; значит, параллельная разработка займет на 35% меньше времени.

После построения сетевого графика можно рассчитать примерную стоимость разработки системы. Основываясь на задачах сетевого графика, необходимо определить приблизительный состав команды разработчиков проекта. Рассмотрим команду следующего состава: 1 менеджер проекта, 1 ведущий

программист, 4 программиста (по одному на каждый модуль), 1 аналитик, 1 разработчик интеграции, 1 QA-инженер. Произведем расчет трудозатрат (в человеко-днях) по каждой задаче и для каждого члена команды (табл. 2). Рассчитаем количество средств, которые необходимо потратить на зарплату работникам. Для расчета человеко-месяцев уточним, что 1 рабочий день равен 8 часам. Результаты вычислений приведены в таблице 3. Ставка (руб./мес.) для каждой должности является приближенным значением.

Таблица 2 - Расчет трудозатрат

№ этапа	Длит. (дни)	Менеджер проекта	Ведущий прогр.	Аналитик	Прогр. 1	Прогр. 2	Прогр. 3	Прогр. 4	Разраб. интегр.	QA-инженер
1	4	2		4						
2	5	2	1	5						
3	3	2	3	1						
4	15		2		15					
5	18		2			18				
6	15		2				15			
7	20		2					20		
8	10	1	5						10	
9	12	1	3						12	
10	10	1	2						2	10
11	8	1	2		4	4	4	4	4	4
12	7	3	2	7						
13	10	3	4						6	2

Таблица 3 - Расчет затрат на заработную плату

Должность	Человеко-дни	Человеко-часы	Человеко-месяцы	Ставка (руб./мес.)	Общ. затраты
Менеджер проекта	16	128	0,8	180000	144000
Ведущий прогр.	30	240	1,5	200000	300000
Аналитик	17	136	0,85	140000	119000
Прогр. 1	19	152	0,95	160000	152000
Прогр. 2	22	176	1,1	160000	176000
Прогр. 3	19	152	0,95	160000	152000
Прогр. 4	24	192	1,2	160000	192000
Разработчик интеграции	34	272	1,7	150000	255000
QA-инженер	16	128	0,8	120000	96000
Итого	197	1576	9,85		1586000

Для вычисления полной стоимости разработки проекта необходимо учесть еще несколько статей расходов, перечисленных в таблице 4. Там же указана итоговая стоимость процесса разработки системы.

Таблица 4 - Расчет итоговой стоимости разработки

Статья расходов	Затраты
Вычислительные ресурсы (аренда облачных хранилищ, стоимость оборудования, сред разработки и т.д.)	20000
Накладные расходы (обычно 20% от заработной платы)	317000
Непредвиденные затраты (обычно 10% от заработной платы)	159000
Итого (с учетом заработной платы)	2082000

Анализ показал, что общая стоимость разработки системы обработки и улучшения качества изображений командой из 9 специалистов составит 2082000 рублей. Эта сумма является приблизительной и может незначительно колебаться в зависимости от величины заработной платы и стоимости используемых вычислительных ресурсов.

Выводы

В статье рассмотрены основные типы визуальных искажений на изображениях: шум, размытие, артефакты сжатия, проблема суперразрешения.

Предложена система обработки и улучшения качества изображений с модифицированными методами, направленная на решение рассмотренных искажений, представлено экономическое обоснование разработки системы, проведено подробное планирование процесса разработки, произведен расчет расходов на разработку.

Результаты исследования могут быть положены в основу разработки предложенной системы и ее дальнейшего развития.

Литература

- Хусанбаев, М. М. Методы улучшения качества изображения / М. М. Хусанбаев, И. А. Ковригин, И. С. Паночкин, Н. А. Абдулаев, В. В. Буряченко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2022.- № 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-uluchsheniya-kachestva-izobrazheniya>
- Стецюк, В. Б. Методы устранения шумов на изображениях // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2019. - № 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-ustraneniya-shumov-na-izobrazheniyah>
- Эльдарава, Э. Э. Оценка эффективности методов подавления шума цифровых изображений. / Э.Э. Эльдарова, В.В. Старовойтов, К.Т. Исакаев // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. — Серия: Технические науки и технологии. — 2020. — № 1 (130). — С. 114-121.
- Седова, Н.В. Проблема шумоподавления при редактировании изображений. / Н.В. Седова // Вестник Тамбовского университета. — Серия: Естественные и технические науки. — 2009. — Т. 14. — № 5-1. — С. 906-909.
- Zhang, Kaihao, et al. Deep Image Deblurring: A Survey. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/abs/2201.10700>
- Lee, Y.. Reduction of Compression Artifacts Using a Densely Cascading Image Restoration Network / Y. Lee, S.-h. Park, E. Rhee, B.-G. Kim, D. Jun // Applied Sciences, 2021. - 11(17), 7803. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/17/7803>
- Гаджимирзаев, Ш. М. Повышение разрешения изображений с использованием глубоких сверточных нейронных сетей /

Ш. М. Гаджимирзаев // НАУ. 2024. - №100-1.
[Электронный ресурс]. URL:
<https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-razresheniya-izobrazheniy-s-ispolzovaniem-glubokih-svertochnyh-neyronnyh-setey>

8. Giro-i-Nieto, Xavier, et al. Cost Savings from Automatic Quality Assessment of Generated Images. 2025. [Электронный ресурс]. URL:
<https://arxiv.org/abs/2510.16179>

Плешингер А.В., Зори С.А., Боднар А.В. Разработка системы обработки и улучшения качества изображений – проблемы, пути решения и экономический аспект реализации. В статье проведен анализ наиболее распространенных проблем в области обработки изображений. Предложена модель системы обработки и улучшения качества изображений, содержащая модифицированные методы обработки изображений. Проведен анализ потенциальной экономической эффективности системы, рассмотрен процесс планирования разработки системы, проведен расчет итоговой стоимости разработки.

Ключевые слова: обработка изображений, шумоподавление, размытие, артефакты сжатия, суперразрешение, сетевой график.

Pleshinger A.V., Zori S.A., Bodnar A.V. Development of an Image Processing and Enhancement System: Challenges, Solutions, and the Economic Aspect of Implementation. The article presents an analysis of the most common problems in the field of image processing. A model of an image enhancement and processing system incorporating modified image processing methods is proposed. The potential economic efficiency of the system is evaluated, the process of planning its development is examined, and the final development cost is calculated.

Keywords: image processing, denoising, deblurring, compression artifacts, super-resolution, Critical Path Method diagram.

Статья поступила в редакцию 28.11.2025
Рекомендована к публикации профессором Мальчевой Р. В.