

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ AIR-NET

Кукин Д. П., Купчина Е. В., Панасик А. А.

Кафедра вычислительных методов и программирования,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {kukin, e.kupchina, a.panasik}@bsuir.by

Описываются основные аспекты алгоритма восстановления изображений плохо освещенных объектов, обеспечивающего улучшение видимости деталей при сохранении естественного вида сцены.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс формирования компьютерных изображений в условиях недостаточной освещенности сопровождается существенным ухудшением основных характеристик визуальных данных. Ключевой проблемой является значительное снижение отношения сигнал–шум, возникающее вследствие ограниченного количества фотонов, достигающих светочувствительной матрицы. Это приводит к преобладанию шумовой составляющей над полезным сигналом, что особенно выражено в теневых областях и создает серьезные препятствия для последующей обработки и анализа изображений.

I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В рамках решения задачи восстановления плохо освещенных изображений нейронная сеть служит основным инструментом для построения сложного нелинейного преобразования, способного компенсировать искажения, вызванные недостаточной освещенностью.

Особенностью предлагаемого подхода является использование глубокой сверточной архитектуры AIR-Net, которая позволяет анализировать пространственные взаимосвязи между различными участками изображения.

Предлагаемая архитектура объединяет надежную U-Net-подобную структуру с принципиально новыми модулями обработки. В качестве базового каркаса используется проверенная энкодер-декодер архитектура, которая дополнена специализированными блоками, разработанными для решения специфических проблем слабоосвещенных изображений.

Алгоритм AIR-Net представляет собой специализированную нейросетевую архитектуру, разработанную для эффективного восстановления компьютерных изображений, полученных в условиях недостаточной освещенности. Основу алгоритма составляет каскадная обработка, сочетающая анализ глобального распределения освещенности с локальной коррекцией деталей.

Ключевой особенностью алгоритма является использование адаптивных карт освещенности,

которые позволяют дифференцированно обрабатывать различные участки изображения.

Архитектура AIR-Net реализована как энкодер-декодерная структура с тремя специализированными модулями:

1. Модуль AIM (Adaptive Illumination Map) реализован на основе иерархической обработки изображения с использованием пирамиды масштабов. Принцип работы основан на последовательном анализе распределения яркости от глобального к локальному уровню. На каждом масштабе применяются сверточные слои с увеличивающейся областью восприятия, что позволяет выявлять как общие закономерности освещения, так и локальные аномалии. Для генерации карт освещенности используется комбинация линейных и нелинейных преобразований, обеспечивающая адаптацию к различным типам компьютерных изображений.
2. Блоки IRB (Illumination Restoration Block) построены по принципу остаточного обучения с использованием глубоких сепарабельных сверток. Основной идеей является раздельная обработка пространственных и глубинных характеристик изображения, что позволяет эффективно восстанавливать детали при сохранении вычислительной эффективности. В каждом блоке реализованы механизмы внимания, которые автоматически определяют значимость различных областей изображения для последующей коррекции.
3. Модуль MSFF (Multi-Scale Feature Fusion) использует принцип взвешенного объединения признаков различного масштаба. Реализация основана на параллельной обработке признаков с разным разрешением и их последующей интеграции с обучаемыми весовыми коэффициентами. Это позволяет сохранять как мелкие детали (текст, границы интерфейсов), так и глобальную структуру компьютерного изображения.

Общим принципом реализации всех модулей является ориентация на специфику компьютерных изображений, включая сохранение резких

границ, точности цветопередачи и структурной целостности графических элементов.

Для алгоритма AIR-Net использована система критериев, учитывающих структурные особенности компьютерных изображений. Основной акцент делается на оценке сохранения функциональных характеристик интерфейсов: читаемости текстовых элементов, узнаваемости пиктограмм, сохранения пропорций графических компонентов. Вводится параметр «коэффициент информационной сохранности», измеряющий степень распознаваемости ключевых элементов интерфейса после восстановления. Дополнительно оценивается естественность цветопередачи стандартных палитр и сохранение резкости векторных элементов.

Качество работы алгоритма AIR-Net существенно зависит от соответствия входных данных установленным требованиям. Для компьютерных изображений критически важным является использование форматов без потерь, что позволяет сохранить точность графических элементов и текстовых компонентов. Минимальное разрешение обеспечивает необходимый уровень детализации для корректного распознавания интерфейсных элементов. Стандартное цветовое пространство гарантирует согласованность обработки с отраслевыми нормами компьютерной графики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили принципиальные преимущества разработанного алгоритма при обработке именно компьютерных изображений в сравнении с универсальными решениями. Архитектура AIR-Net обеспечивает сохранение семантической целостности интерфейсных элементов, графических компонентов и текстовой информации, что было верифицировано в ходе тестирования на специализированных наборах данных.

Перспективные направления дальнейшего развития алгоритма связаны с оптимизацией вычислительной эффективности для работы в режиме реального времени, расширением функциональных возможностей для обработки видеопотоков компьютерных изображений, а также адаптацией архитектуры для работы с новыми форматами цифрового контента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М. : Техносфера, 2012. – 1104 с.
2. Фомин Я. А., Корякин А. В. Алгоритмы обработки и анализа цифровых изображений. – СПб. : СПбГУ, 2018. – 216 с.
3. Сойфер В. А. Методы компьютерной обработки изображений. – М. : Физматлит, 2019. – 784 с.
4. Журавлев Ю. И., Рязанов В. В., Сенько О. В. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения. – М. : Физматлит, 2019. – 296 с.
5. Иванов Д. Н., Петров А. В. Сравнительный анализ алгоритмов улучшения изображений при низкой освещенности // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44. – № 3. – С. 412-420.
6. Сидоров А. А., Козлов С. В. Нейросетевые методы восстановления зашумленных изображений // Информационно-управляющие системы. – 2021. – № 2. – С. 45-53.
7. Васильев К. Д., Николаев Д. П. Алгоритмы сегментации изображений на основе глубокого обучения // Обработка изображений и дистанционное зондирование. – 2019. – № 4. – С. 28-35.
8. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. – М. : Наука, 2019. – 288 с.
9. Желтов С. Ю., Корякин А. В. Методы регуляризации в задачах обработки изображений // Вычислительные методы и программирование. – 2020. – Т. 21. – С. 156-165.
10. Белов М. Л., Грановский Ю. В. Цифровая обработка сигналов и изображений в системах видеонаблюдения. – М. : Горячая линия-Телеком, 2018. – 280 с.
11. Андреев А. М., Павлов А. В. Алгоритмы улучшения качества изображений в системах технического зрения // Датчики и системы. – 2021. – № 3. – С. 34-41.
12. Кузнецов Е. П., Орлов Ю. В. Методика сравнительного анализа алгоритмов обработки изображений // Информационные процессы. – 2019. – Т. 19. – № 2. – С. 145-156.
13. Смирнов А. В., Федоров Р. К. Отечественная база данных изображений с различными условиями освещенности // Цифровая обработка сигналов и ее применение. – 2020. – Т. 22. – № 1. – С. 67-72.
14. Девятков В. В., Голубков А. Е. Применение нейросетевых технологий в задачах компьютерного зрения. – М. : Радио и связь, 2018. – 184 с.
15. Рыжов А. П., Михайлов Б. Б. Математические модели в системах обработки изображений. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 320 с.
16. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. – 2015. – P. 234-241.
17. Wang Z., Bovik A.C., Sheikh H.R., Simoncelli E.P. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity // IEEE Transactions on Image Processing. – 2004. – Vol. 13. – No. 4. – P. 600-612.
18. Guo X., Li Y., Ling H. LIME: Low-Light Image Enhancement via Illumination Map Estimation // IEEE Transactions on Image Processing. – 2017. – Vol. 26. – No. 2. – P. 982-993.
19. Dabov K., Foi A., Katkovnik V., Egiazarian K. Image Denoising by Sparse 3D Transform-Domain Collaborative Filtering // IEEE Transactions on Image Processing. – 2007. – Vol. 16. – No. 8. – P. 2080-2095.
20. Kingma D. P., Ba J. Adam: A Method for Stochastic Optimization // arXiv preprint arXiv:1412.6980. – 2014.
21. OpenCV Library Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.opencv.org/> (дата обращения: 10.01.2024)
22. TensorFlow Framework Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tensorflow.org/> (дата обращения: 15.01.2024)
23. PyTorch Framework Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pytorch.org/> (дата обращения: 20.01.2024)