

Сравнительный обзор аппаратно-программных методов повышения пространственного разрешения изображений

Н. М. Соколов*, Д. Р. Шаривзянов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

*niksokolov2001@mail.ru

Аннотация. В статье представлен обзор методов увеличения разрешения изображений с анализом их характеристик и эффективности. Рассматривались различные достоинства и недостатки каждого метода, а также различные сферы, в которых данные технологии могут пригодиться.

Ключевые слова: суперразрешение, клиновидные призмы, пьезоактуаторы, искусственный интеллект, субпиксельное смещение

I. ВВЕДЕНИЕ

Повышение пространственного разрешения изображений является актуальной задачей, которая исследуется с начала 1970-х годов. Различные методы, разработанные за этот период, можно условно разделить на программные и аппаратные. Их ключевое различие заключается в способе обработки и использования исходных данных низкого разрешения. Программные методы включают интерполяционные алгоритмы и технологии, основанные на искусственном интеллекте, тогда как аппаратные решения предполагают модификацию оптического тракта или внесение физических изменений в процесс формирования изображения.

Целью данной работы является проведение детального сравнительного анализа различных подходов к повышению разрешения изображений. Особое внимание уделено разработке модели выбора метода, который обеспечит оптимальное соотношение точности, вычислительных затрат и применимости в зависимости от поставленной задачи.

II. ПРОГРАММНЫЕ МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ РАЗРЕШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Программные методы увеличения разрешения изображений широко используются благодаря их доступности и простоте реализации. Они подразделяются на интерполяционные методы и методы, основанные на искусственном интеллекте. Результаты использования подобных методов представлены на рис. 1.

A. Интерполяционные методы

Интерполяционные методы базируются на предсказании недостающих пиксельных значений, исходя из уже имеющихся данных, что влечет за собой определенные артефакты, такие как муаровые искажения, сглаживание деталей и потеря резкости. Достоинства такого подхода заключаются в простоте

реализации, низких вычислительных затратах и быстрой обработке изображений.

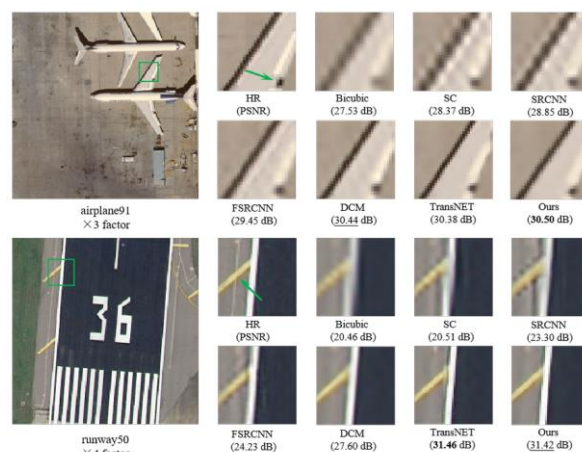


Рис. 1. Примеры использования программных методов увеличения разрешения [1]



Рис. 2. Пример искажений мелких деталей на видеоряде при использовании нейросетевого метода Nvidia DLSS (Deep Learning Super Sampling) (a) и исходные данные (б) [2]

B. Методы, основанные на искусственном интеллекте

Современные методы, использующие искусственный интеллект (SCRNN, FCTNet, TransNet), предлагают более продвинутые алгоритмы, которые позволяют предсказывать недостающие детали с высокой степенью точности. Однако они также не лишены недостатков, включая необходимость в больших вычислительных мощностях, предварительном обучении на специализированных наборах данных и возможность появления артефактов в виде «галлюцинаций» – добавления несуществующих деталей. Пример описанных искажений представлен на рис. 2.

Важно отметить, что даже современные нейросетевые алгоритмы подвержены ошибкам, что делает их нежелательными для применения в критически важных измерительных системах.

III. АППАРАТНЫЕ МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ РАЗРЕШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Аппаратные методы повышения разрешения основаны на получении нескольких опорных изображений, которые затем объединяются для формирования изображения с более высоким разрешением. В отличие от программных решений, такие методы обеспечивают более предсказуемый результат, так как позволяют управлять процессом съемки. Однако их применение ограничено рядом факторов, таких как неподвижность сцены, сложность реализации и стоимость оборудования.

Среди аппаратных методов можно выделить два ключевых направления: реализация смещения фаз фотоприемника относительно оптического тракта и внедрение дополнительных элементов в оптический тракт системы компьютерного зрения.

А. Методы фазового сдвига фотоприемн

Метод смещения фотоприемника предполагает перемещение сенсора на доли пикселя для получения нескольких изображений с разными фазовыми сдвигами, которые затем комбинируются для получения изображения с повышенным разрешением. Возможный набор получаемых изображений представлен на рис. 3. Этот метод требует использования высокоточной механики, например пьезоактуаторов, способных обеспечивать перемещение с точностью до десятков нанометров (рис. 4). Главным недостатком данного подхода является сложность его аппаратной реализации и высокая стоимость компонентов.

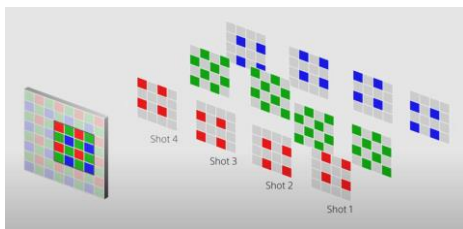


Рис. 3. Пример набора кадров при смещении сенсора [3]



Рис. 4. Типовая реализация сборки пьезоактуаторов для смещения сенсора [4]

В. Методы, внедряющие дополнительные элементы в оптический тракт устройства

Альтернативный метод заключается в использовании клиновидных призм, которые размещаются перед объективом камеры. Пример модифицированной системы представлен на рис. 5. Вращение призм относительно друг друга позволяет изменять угол преломления падающего света, что приводит к смещению изображения на сенсоре. Это дает

возможность получать несколько изображений с различными углами обзора, что в дальнейшем используется для формирования изображения повышенного разрешения (рис. 6). Основной сложностью данного метода является необходимость в точной механической настройке системы и сложность последующей обработки полученных изображений.

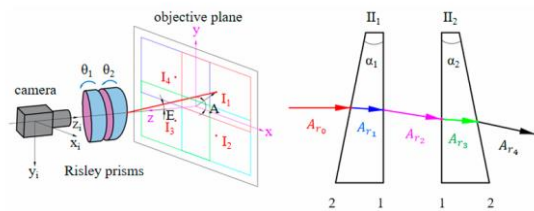


Рис. 5. Принцип работы устройства на базе клиновидных призм [5]

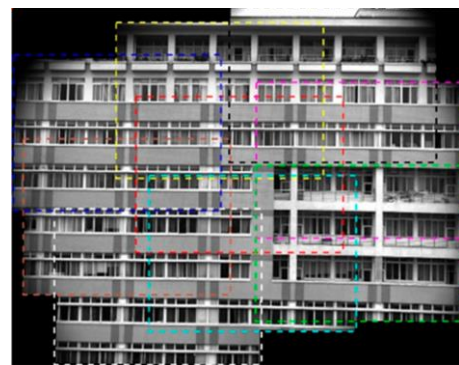


Рис. 6. Пример полученных изображений в системе с клиновидными призмами [5]

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оба рассмотренных подхода к повышению разрешения имеют свои достоинства и ограничения. Программные методы являются более доступными и простыми в реализации, однако они могут вносить искажения и не всегда обеспечивают достаточное качество. Аппаратные методы, в свою очередь, позволяют достичь более высоких показателей точности, но требуют сложного и дорогостоящего оборудования.

Перспективные направления исследований включают разработку гибридных методов, сочетающих достоинства программных и аппаратных решений. В частности, планируется создание компактного аппаратного модуля повышения разрешения, ориентированного на задачи мультиспектральной съемки в условиях ограниченной стоимости и размеров устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Shi N., Zhou H., Ye C., Yao B., Wu Y., Li B. FCTNet: A CNN-Transformer Hybrid for Single Remote Sensing Image Super-Resolution // 2024 IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications (ISPA). IEEE, 2024. С. 368-377.
- [2] Tim Schiesser Nvidia DLSS 3 Revisit: We Try It Out in 9 Games. URL: <https://www.techspot.com/article/2639-dlss-3-revisit/> (дата обращения 01.03.2025).
- [3] Sony Alpha 7R IV / Sony product description. URL: <https://www.sony.ru/electronics/interchangeable-lens-cameras/ilce-7rm4a#Envision> (дата обращения 01.03.2025).
- [4] Cedrat Technologies XY25XS/ Cedrat technologies product description URL: <https://cedrat-technologies.com/produit/xy25xs/> (дата обращения 01.03.2025).
- [5] Gui C., Wang D., Huang X., Wu C., Chen X., Huang H. Super-resolution and wide-field-of-view imaging based on large-angle deflection with risley prisms // Sensors. 2023. T. 23. №. 4. С. 1793.