

КОМПЕНСАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ ПРИ ВСТРАИВАНИИ ЦВЗ В ПОЛИГРАФИЧЕСКУЮ ПРОДУКЦИЮ

студент 4 курса, 5КБ группы Липницкий Д. М.

Научный руководитель - канд. техн. наук Садов В. С.

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

Одним из важнейших направлений применения компьютерной стеганографии является встраивание цифровых водяных знаков (ЦВЗ) в изображения для защиты авторских прав [1].

ЦВЗ представляют собой специализированную метку, встраиваемую в цифровой сигнал и содержащую информацию об авторе, которая не видна для человеческого глаза.

ЦВЗ также могут использоваться и для защиты авторских прав на высококачественную полиграфическую продукцию. В этом случае метка встраивается в цифровое оригинальное изображение, которое в дальнейшем используется для производства печатных копий оригинала.

Главной проблемой при встраивании ЦВЗ в полиграфическую продукцию является возникновение геометрических искажений изображения в процессе его сканирования-печати, которые вызывают несоответствие положения точек оригинального изображения и отсканированной копии, что приводит к невозможности извлечения ЦВЗ.

Геометрические искажения могут быть описаны совокупностью проективных преобразований точек на плоскости [2], которые можно представить при помощи следующего матричного уравнения в однородных координатах:

$$\begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{w} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix}$ – вектор, описывающий положение исходной точки, $\begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{w} \end{bmatrix}$ – вектор, описывающий новое положение точки, t_{ij} – коэффициенты матрицы преобразования.

К проективным преобразованиям относятся такие преобразования как сдвиг, поворот, масштабирование, скос, отражение. Пример проективного преобразования приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Проективное преобразование

Рассмотрев различные алгоритмы, позволяющие устранить проблему влияния геометрических искажений на извлечение ЦВЗ, в качестве основы для алгоритма компенсации геометрических искажений был выбран подход, основанный на применении детекторов и дескрипторов особых точек.

Особой точкой называется точка изображения, окрестность которой отличается от близлежащих точек по некоторой выбранной мере.

Для описания особой точки используют дескрипторы особых точек, которые позволяют находить соответствия между изображениями.

Выбор данного подхода обоснован следующими преимуществами:

- при использовании детекторов особых точек нет необходимости встраивать в изображение-контейнер дополнительную информацию для нахождения обратного преобразования, что повышает пропускную способность алгоритма встраивания/извлечения ЦВЗ;
- стойкость алгоритмов детектирования особых точек при внесении искажений в контейнер;
- независимость данного подхода от используемого алгоритма встраивания и извлечения информации.

Блок-схема разработанного алгоритма компенсации геометрических искажений приведена на рисунке 2.

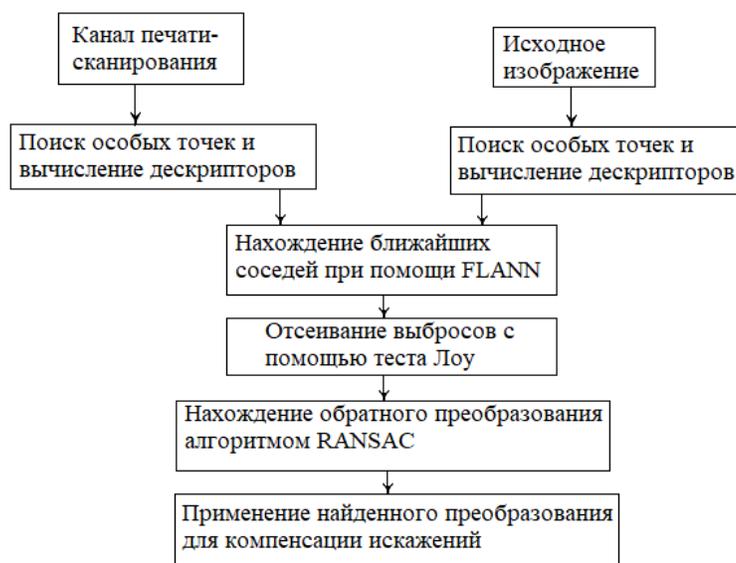


Рисунок 2 – Блок-схема процесса компенсации искажений

Вначале на оригинальном и отсканированном изображении с помощью выбранного детектора и дескриптора осуществляется поиск особых точек и их описание.

Следующим шагом является нахождение соответствий между найденными особыми точками оригинального изображения и искаженного.

Для каждой особой точки оригинального изображения на отсканированной копии находится по два наиболее близких соответствия.

Для сопоставления особых точек применяется алгоритм поиска k -ближайших соседей, основанный на использовании K -мерных деревьев (для случая не бинарных дескрипторов) или же алгоритм на основе LSH (для случая бинарных дескрипторов), реализованные в библиотеке FLANN.

Метрика, по которой сравнивается расстояние выбирается в зависимости от типа дескриптора. Для не бинарных дескрипторов это квадрат евклидова расстояния:

$$d(x_1, x_2) = \sum_{i=0}^N (x_{i1} - x_{i2})^2, \quad (2)$$

где x_1, x_2 – точки в N -мерном пространстве.

Для бинарных дескрипторов расстояние вычисляется как расстояние по Хэммингу, которое определяется как количество отсчетов, в которых векторы признаков отличаются.

Далее отбрасываются плохие соответствия при помощи теста Лоу, который заключается в проверке следующего неравенства:

$$\text{dist}(m) < \alpha * \text{dist}(n), \quad (3)$$

где m – ближайшая точка, n - ближайшая после m , α – некоторое значение от 0 до 1, dist – рассчитанное расстояние.

Точка считается хорошей, если её дескриптор значительно более схож с дескриптором оригинальной точки, нежели дескрипторы всех остальных точек, что уменьшает вероятность случайного совпадения.

Далее происходит непосредственно компенсация геометрических искажений отсканированной копии. Для этого находится преобразование положения точек отсканированного изображения к положению точек оригинала вида (1). Для нахождения матрицы преобразования используется алгоритм RANSAC.

Алгоритм RANSAC работает следующим образом. По нескольким случайно выбранным парам точек строится гипотеза – преобразование, описывающее трансформацию отсканированного изображения, к геометрическому положению оригинального изображения.

Оставшиеся пары точек проверяются на соответствие гипотезы, путем вычисления ошибки оценки преобразования. Если ошибка превышает некоторый порог, то точки отсеиваются.

После получения достаточного количества точек, которые подходят под гипотезу, процесс повторяется несколько раз для уточнения. После многократного случайного построения различных гипотез выбирается та, которой удовлетворяет наибольшее число пар особых точек.

Также после получения конечной модели происходит отсеивание соответствий с наибольшей ошибкой оценки преобразования.

Последним шагом является применение найденного преобразования к отсканированной копии изображения.

В качестве алгоритмов детектирования и описания особых точек были рассмотрены следующие: SIFT, ORB, BRISK и AKAZE. Выбор обусловлен

высокой устойчивостью данных алгоритмов к искажениям изображений, особенно к геометрическим.

Было произведено сравнение выбранных алгоритмов по точности нахождения соответствий и качеству восстановления.

В качестве тестовых изображений были выбраны следующие: Napoleon(1200x801), Lena(512x512), Koala(1024x768), Desert(1024x768), MilkyWay(650x478). После выполнения печати-сканирования получили изображения размерами 1653x2336 пикселей повернутые относительно исходного положения. Изображения представлены на рисунках 3,4.

Результаты сравнений детекторов по точности Асс (отношение количества правильных соответствий к общему числу найденных соответствий) и по количеству найденных правильных соответствий Count представлены в таблице 1.



Рисунок 3 – Оригиналы изображений

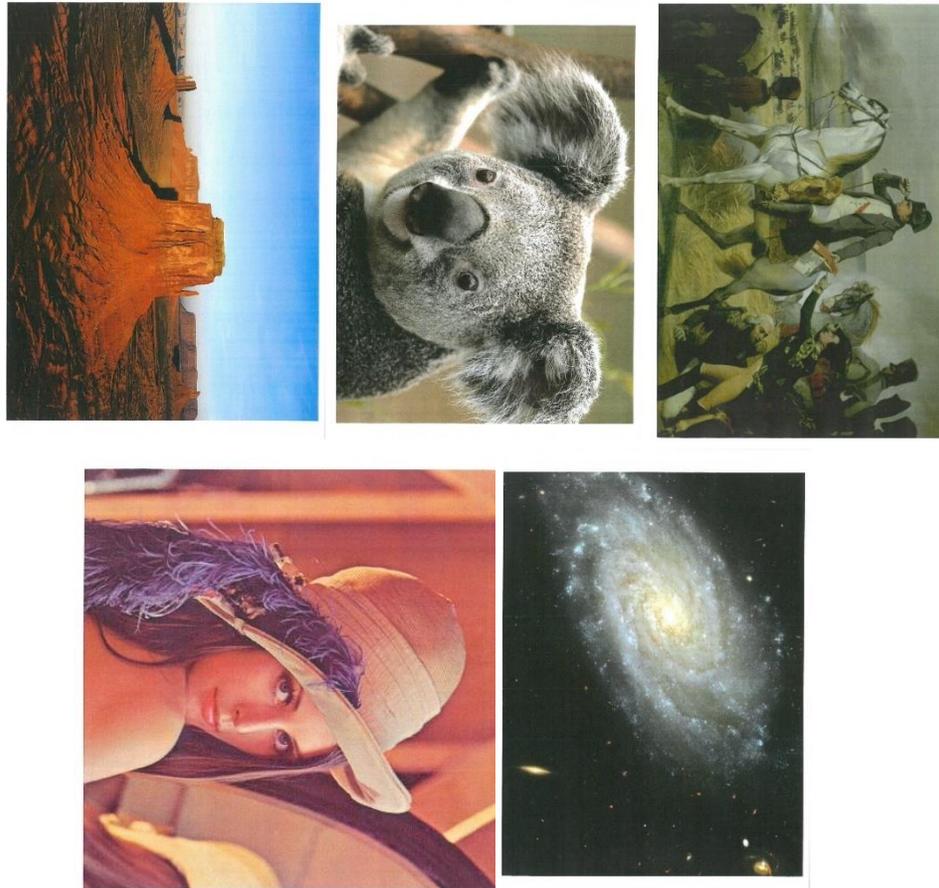


Рисунок 4 – Искаженные копии изображений

Таблица 1. Точность детектирования особых точек

	AKAZE		ORB		SIFT		BRISK	
	Acc	Count	Acc	Count	Acc	Count	Acc	Count
MilkyWay	0,215	14	0,152	20	0,326	44	0,189	21
Lena	0,085	33	0,089	32	0,367	197	0,169	31
Desert	0,136	94	0,135	76	0,32	257	0,177	56
Napoleon	0,14	196	0,116	44	0,249	215	0,125	34
Koala	0,136	297	0,115	224	0,342	1400	0,198	693

По полученным результатам видно, что наибольшее количество сопоставлений позволяет получить алгоритм SIFT. После него идет алгоритм BRISK, который все еще хуже алгоритма SIFT. Значительно хуже показал себя алгоритм ORB, который детектировал наибольшее количество точек, но большинство из них оказались выбросами.

Для сравнения качества восстановления использовалось пиковое отношение сигнал к шуму (PSNR). Результаты сравнений приведены на рисунке 5.

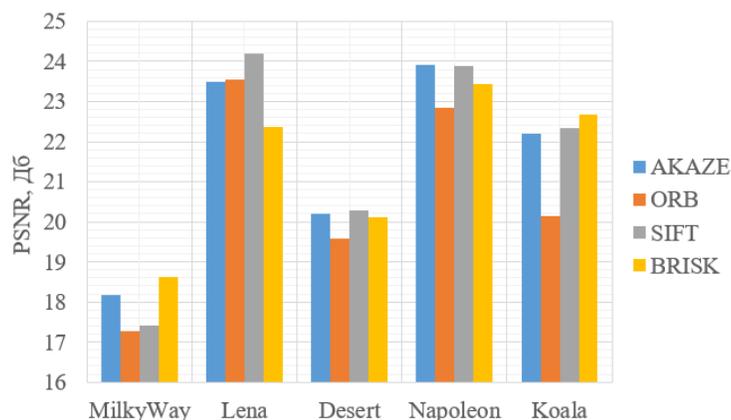


Рисунок 5 – Качество восстановления изображений при использовании различных алгоритмов

При использовании модели проективных преобразований алгоритмы SIFT, AKAZE и BRISK позволили достичь приемлемых показателей качества восстановления. Детектор ORB оказался худшим.

Выводы. В работе предложен алгоритм компенсации геометрических искажений, который позволяет достаточно точно восстановить геометрию изображения после его печати и сканирования. Из проведенных экспериментов можно сделать вывод, что наиболее подходящим для поставленной задачи является алгоритм SIFT.

Литература

1. Грибунин, В.Г. Цифровая стеганография: учебное пособие / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев. – Москва: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 264 с.
2. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ: Учебное пособие.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. - 168.