

ЗАЩИТА ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

В работе рассматриваются технологии формирования и нанесения цифровых водяных знаков с цифровых носителей на полиграфическую продукцию с целью защиты авторских прав на нее.

Одним из важнейших направлений применения цифровой 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 о авторе, которая не видна для человеческого глаза.

ЦВЗ также могут использоваться и для защиты авторских прав на полиграфическую продукцию. В этом случае метка встраивается в цифровую копию изображения, которое в дальнейшем используется для произведения печатных копий оригинала. Для извлечения ЦВЗ распечатанную копию нужно отсканировать и получить цифровую.

Проблемы при таком подходе возникают при извлечении ЦВЗ, так как при печати и сканировании исходного изображения получается его искаженная копия. В данной работе приведен алгоритм, реализующий встраивание и извлечение ЦВЗ стойкий к процессам печати и сканирования изображения.

Возникающие в ходе процесса печати и сканирования искажения можно разделить на два типа: геометрические искажения и искажения значений пикселей.

Геометрические искажения заключаются в несоответствии положения точек исходного изображения и отсканированного, что приводит к невозможности извлечения ЦВЗ. Математически их можно описать совокупностью проективных преобразований точек на плоскости [2]:

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

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.

Искажения значений пикселей после прохождения канала печати-сканирования можно описать совокупностью следующих преобразований [3]:

- сглаживание гауссовым фильтром с параметром σ_s :

$$y_\sigma(n_1, n_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_s^2} \sum_{m_1=-3\sigma_s}^{3\sigma_s} \sum_{m_2=-3\sigma_s}^{3\sigma_s} x(n_1 - m_1, n_2 - m_2) \exp\left(-\frac{m_1^2 - m_2^2}{2\sigma_s^2}\right), \quad (2)$$

где $y_\sigma(n_1, n_2)$ – точка сглаженного изображения, $x(n_1, n_2)$ – точка изображения до преобразования%;

- наложение белого шума $\xi(n_1, n_2)$ с мат ожиданием $M_\xi = 0$ и среднеквадратичным отклонением σ_ξ :

$$y_\xi(n_1, n_2) = y_\sigma(n_1, n_2) + \xi(n_1, n_2), \quad (3)$$

где $y_\xi(n_1, n_2)$ – точка зашумленного изображения.

Предлагаемый алгоритм встраивания ЦВЗ основан на использовании опорных точек для компенсации геометрических искажений и встраивании ЦВЗ в частотную область дискретного косинусного преобразования (ДКП) с применением метода расширения спектра.

В общем виде алгоритм можно описать в виде последовательности следующих шагов:

- формирование ЦВЗ на основе псевдослучайной последовательности,
- встраивание ЦВЗ в частотную область контейнера,
- компенсация геометрических искажений,
- извлечение ЦВЗ.

Формирование последовательности для встраивания производится методом, основанным на методах расширения спектра, что повышает устойчивость ЦВЗ к помехам. Исходный ЦВЗ представляет собой некоторую последовательность бит b размера k . Генерируется M -последовательность длиной n с помощью линейного регистра с обратной связью (ЛРСОС) длиной d бит, определенной отводной последовательностью и начальным заполнением.

На основе полученной псевдослучайной последовательности ПСП длиной n генерируется новая последовательность W , где каждые n чисел, соответствующие одному биту ЦВЗ b , вычисляются по формуле:

$$W(i) = \alpha(-1)^b M(i), i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

где α – коэффициент усиления.

Встраивание осуществляется в среднечастотную область коэффициентов ДКП синего канала изображения-контейнера, так как к искажениям в этом канале менее всего чувствительна зрительная система человека (ЗСЧ). Среднечастотные коэффициенты ДКП выбираются исходя из того, что наибольшим искажениям подвержены высокочастотные коэффициенты, а к искажениям в низкочастотной области больше всего чувствительна ЗСЧ. Процесс встраивания ЦВЗ осуществляется следующим образом:

В исходном изображении I выделяется синяя составляющая I_B . Полученная матрица I_B размером $N_1 \times N_2$ разбивается на непересекающиеся блоки размера $n_1 \times n_1$. Последовательность W полученная на предыдущем этапе также разбивается на тоже число блоков W_m .

Для блоков I_B и W_m строятся таблицы, в которых первый столбец это номер блока, второй значение среднеквадратического отклонения интенсивностей пикселей (для I_B) и суммы модулей значащих элементов (для W_m). Таблицы сортируются по убыванию значений второго столбца и далее из вторых столбцов составляется таблица соответствий, которая будет указывать, в какие блоки I_B встраивать блоки W_m .

Далее вычисляется ДКП блоков I_B , в результате чего получаем матрицу F коэффициентов ДКП. Блоки W_m аддитивно встраиваются в среднечастотные коэффициенты соответствующих блоков F в соответствии с таблицей, в результате получается матрица F' . Далее вычисляется ОДКП блоков матрицы F' и получается I_B' . После чего матрица I_B' совмещается с остальными компонентами I_R и I_G , в результате получается заполненный контейнер I' .

Компенсация геометрических искажений основывается на сопоставлении особых точек оригинального изображения и искаженной копии и нахождении обратного преобразования точек.

Выбор данного подхода обоснован следующими его 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.
- обеспечивается стойкость ряда алгоритмов детектирования особых точек при внесении искажений в контейнер.

Сначала 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 находятся по два наиболее близких соответствия, для чего применяются алгоритмы приближенного поиска k -ближайших соседей.

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

$$dist(m) < \alpha * dist(n), \quad (5)$$

где m – ближайшая точка, n – ближайшая после m , α – некоторая величина от 0 до 1, $dist$ – рассчитанное расстояние.

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. В качестве алгоритма детектирования и описания особых точек рекомендуется использовать SIFT.

Извлечение ЦВЗ происходит при наличии исходного изображения, начального заполнения генератора случайных последовательностей и таблицы соответствий, полученной при встраивании. Процесс извлечения происходит следующим образом. В полученном после компенсации геометрических искажений изображении I'' и исходном изображении выделяются синие каналы I_B'' и I_B , которые также разбиваются на блоки размера $n_1 \times n_1$. К блокам I_B'' и I_B применяется поблочное ДКП и извлекаются коэффициенты, в которые происходило встраивание ЦВЗ. Находится разность строк I_W' и I_w в виде W_{sort}' , которая разбивается на такое же число блоков Wm_{sort}' , как и I_W' . Далее с использованием таблицы соответствий, полученной при встраивании, осуществляется перестановка блоков Wm_{sort}' так, чтобы их положение соответствовало исходному положению блоков в Wm . Полученные блоки преобразуются в строку бит W' .

ЛРСОС генерирует ПСП M с применением ключа, который использовался при встраивании. Для каждого n бит, которые соответствуют одному биту ЦВЗ, вычисляется величина δ :

$$\delta = \sum_{i=1}^n W'(i) M(i), \quad (6)$$

а бит ЦВЗ определяется по формуле:

$$b = \begin{cases} 1, & \delta < 0; \\ 0, & \delta \geq 0. \end{cases} \quad (7)$$

В работе представлен алгоритм встраивания и извлечения ЦВЗ, стойкий к процессам печати и сканирования изображения. Основу алгоритма составляет применение алгоритма детектирования и описания особых точек для компенсации геометрических искажений, а также встраивание в среднечастотные коэффициенты ДКП с применением метода расширения спектра. В качестве ключевой информации используется начальное заполнение ЛРСОС и таблица соответствий. При извлечении необходимо наличие исходного незаполненного контейнера.

Список литературы

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 с.
3. Н.И. Глумов, В.А. Митекин, А.В. Сергеев, В.А. Федосеев. Алгоритм извлечения скрытой информации из отсканированных полиграфических изделий. Вестник СГАУ, №2 (15), 2008. -С. 22