

МЕТОД ОБРАБОТКИ ВЕКТОРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ ЗАЩИТУ АВТОРСКИХ ПРАВ

Василий Карпинец¹⁾, Юрий Яремчук²⁾

¹⁾²⁾ Винницкий НТУ, 21021 Украина, г. Винница, Хмельницкое шоссе, 95,
e-mails: ¹⁾karpinets@gmail.com, ²⁾yurevyar@vntu.net

Резюме: В работе представлен метод обработки векторных изображений, который обеспечивает защиту их авторского права цифровыми водяными знаками с обеспечением уменьшения влияния их встраивания на качество изображения. Особенностью метода является то, что использование в нем двумерного дискретного косинусного преобразования и внедрения бит ЦВЗ путем незначительного изменения в них высокочастотных коэффициентов позволяют обеспечить уменьшение уровня искажения изображения вследствие встраивания ЦВЗ по сравнению с известными методами.

Ключевые слова: стеганография, цифровой водяной знак, защита авторского права, векторные изображения, обработка изображений.

Введение

Сегодня в системах передачи информации все большее распространение получают цифровые изображения векторного формата, используемые для проектирования архитектурных объектов, интерьеров, разработки приборов, рекламы, логотипов, создания шрифтов, географических карт и т.д., на создание которых уходит много времени и средств. В связи с этим возникает проблема, связанная с возможностью нелегального копирования и распространения векторных изображений, которые имеют своего правообладателя.

Для решения задачи защиты авторских прав цифровых векторных изображений используются стеганографические системы цифровых водяных знаков (ЦВЗ), позволяющие маркировать объекты защиты для дальнейшего выявления неправомерного использования изображения [1].

В зависимости от того, какая информация нужна системе для того, чтобы выявить ЦВЗ – оригинал изображения, ЦВЗ, секретный ключ или дополнительная информация, они делятся на четыре типа: конфиденциальные, полуконфиденциальные, полуоткрытые и открытые стеганосистемы [1]. Наиболее перспективными являются открытые стеганосистемы, которые для своей работы, кроме секретного ключа, не требуют ни знания оригинального изображения, ни встроеного ЦВЗ, что облегчает процедуру подтверждения авторских прав.

Среди существующих методов, не требующих для извлечения ЦВЗ оригинала или дополнительной информации, наибольшее распространение получили методы, основанные на частотных преобразованиях [2]. К таким методам относятся

методы Базина-Барса-Маделана, Хе-Жу-Ванга, Солачидиса-Николаидиса-Питаса, Войт-Янга-Буша [3] и др. Однако основной проблемой этих методов при встраивании ЦВЗ является ухудшение качества изображения, которая проявляется в изменении контуров объектов или их положения вследствие изменения координат точек. Причем для векторных изображений, отражающих реальные объекты в масштабе (архитектурные сооружения, механические и электронные приборы, географические карты и т.п.), эта проблема очень актуальна, так как существенное изменение координат точек может исказить информацию о существующих объектах или повлиять на их создание. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на разработку методов не требующих для извлечения ЦВЗ оригинала векторного изображения, в которых решалась бы данная проблема.

1. Метод встраивания ЦВЗ в векторные изображения

В работе [4] предложено стеганографический метод встраивания ЦВЗ в векторные изображения с уменьшением уровня искажений изображения вследствие встраивания ЦВЗ, который для извлечения ЦВЗ не требует оригинала изображения или самого ЦВЗ. Особенностью метода является использование двумерного ДКП для матриц размером 8×8 и изменение в них высокочастотных коэффициентов в зависимости от бита ЦВЗ и двух дополнительных ВЧ-коэффициентов на среднеарифметическое значение этих коэффициентов увеличено или уменьшено на величину P , которая обеспечивает идентификацию битов

при вытягивании ЦВЗ.

Согласно предложенному методу изображение представляется в виде одномерного массива V , в котором элементами являются точки векторного изображения, где $l = 1..N$, N – количество точек в массиве $V_l = (X_l, Y_l)$, где X_l, Y_l – значение координаты точки V_l векторного изображения. Далее формируются матрицы размером 8×8 с каждых 64 координат точек массива V , которые обозначены, как $C_i(x, y)$, где $i = 1..t$, t – количество сформированных матриц, x, y – позиции координат в этой матрице. Для каждой матрицы $C_i(x, y)$ проводится прямое двумерное ДКП, в результате чего получаются матрицы коэффициентов $F(u, v)$, где u, v – позиции этих коэффициентов в матрице.

Было предложено условия для встраивания ЦВЗ, позволяющие незначительно изменять координаты точек изображения. При этом для встраивания одного бита ЦВЗ меняется значение одного высокочастотного (ВЧ) коэффициента $F_i(u_1, v_1)$ матрицы ДКП в зависимости от значений двух ВЧ-коэффициентов $F_i(u_2, v_2)$ и $F_i(u_3, v_3)$. Встраивание битов ЦВЗ m_j , где $i = 1..q$, q – количество бит ЦВЗ, осуществляется следующим образом. Если бит $m_j = 0$, то проверяется условие:

$$F_i(u_1, v_1) < \frac{F_i(u_2, v_2) + F_i(u_3, v_3)}{2}. \quad (1)$$

Если условие (1) выполняется, значение коэффициента $F_i(u_1, v_1)$ остается без изменений, иначе значение коэффициента $F_i(u_1, v_1)$ в матрице $F_i(u, v)$ со встроенным битом ЦВЗ получается следующим образом:

$$F_i(u_1, v_1) = \frac{F_i(u_2, v_2) + F_i(u_3, v_3)}{2} - P. \quad (2)$$

Величина P используется для обеспечения четкой идентификации битов ЦВЗ при извлечении.

Если при встраивании бит ЦВЗ $m_j = 1$, то проверяется выполнение такого условия:

$$F_i(u_1, v_1) > \frac{F_i(u_2, v_2) + F_i(u_3, v_3)}{2}. \quad (3)$$

Если условие (3) выполняется, то коэффициент $F_i(u_1, v_1)$ будет равен значению коэффициента $F_i(u_1, v_1)$, иначе

$$F_i(u_1, v_1) = \frac{F_i(u_2, v_2) + F_i(u_3, v_3)}{2} + P. \quad (4)$$

После изменения коэффициентов проводится обратное дискретное косинус-преобразование над матрицами измененных коэффициентов $F'(u, v)$ и полученные измененные координаты записываются в файл векторного изображения со встроенным ЦВЗ.

Извлечение ЦВЗ из векторного изображения производится без наличия оригинала изображения или самого ЦВЗ таким образом. Сначала из массива точек векторного изображения со встроенным ЦВЗ V' формируются матрицы размером 8×8 , где $i' = 1..t'$, t' – количество сформированных матриц. Далее над матрицами $C'(x, y)$ проводится прямое двумерное ДКП.

После выбора позиций трех ВЧ-коэффициентов $F_{i'}(u'_1, v'_1)$, $F_{i'}(u'_2, v'_2)$, и $F_{i'}(u'_3, v'_3)$ проверяется выполнение условий и определяется соответствующее значение бита ЦВЗ $m'_{j'}$:

$$\begin{cases} m'_{j'} = 0, & \text{если } F_{i'}(u'_1, v'_1) < \frac{F_{i'}(u'_2, v'_2) + F_{i'}(u'_3, v'_3)}{2} \\ m'_{j'} = 1, & \text{если } F_{i'}(u'_1, v'_1) > \frac{F_{i'}(u'_2, v'_2) + F_{i'}(u'_3, v'_3)}{2} \end{cases} \quad (5)$$

Далее извлеченные биты $m'_{j'}$, $j' = 1..q'$, преобразуются в формат представления ЦВЗ.

Для предложенного метода разработана схема и алгоритмы встраивания и извлечения ЦВЗ.

Проведенный анализ предложенного метода с точки зрения влияния ЦВЗ на качество изображения на примере векторной географической карты показал, что использование двумерного ДКП и условий изменения коэффициентов ДКП (1) - (4) встраивания ЦВЗ обеспечивает уменьшение уровня искажений векторных изображений в результате встраивания ЦВЗ в сравнении с существующими методами, однако возможны случаи значительных отклонений отдельных точек [5].

Для устранения таких случаев в работе [6] предложен метод отбора пригодных для встраивания ЦВЗ матриц коэффициентов ДКП, особенностью которого является то, что встраивание битов ЦВЗ предлагается осуществлять только

в те матрицы коэффициентов ДКП, изменение которых не приводит к значительным отклонениям координат точек изображения. При этом определение пригодных для встраивания матриц предлагается осуществлять на основе предложенных условий их отбора с использованием граничного значения P_h величины изменения коэффициентов вследствие встраивания ЦВЗ. То есть, после проведения ДКП проверяются следующие условия:

$$|F_i(u_1, v_1) - F_i(u_2, v_2)| \leq P_h, \quad (6)$$

$$|F_i(u_1, v_1) - F_i(u_3, v_3)| \leq P_h. \quad (7)$$

Если хоть одно из условий (6) - (7) не будет выполняться, выбранные коэффициенты не будут использоваться для встраивания, а соответствующая им матрица $F_i(u, v)$ будет считаться не пригодной для встраивания.

Проведенный анализ показал, что предложенный метод с использованием метода отбора подходящих матриц ДКП обеспечивает уменьшение максимального отклонения значений координат точек векторных изображений вследствие встраивания ЦВЗ до 20 раз, а также их равномерное отклонение относительно точек оригинала векторного изображения.

В случае, когда количество битов ЦВЗ больше чем количество пригодных для встраивания матриц $F_i(u, v)$, то можно увеличить предельное значение P_h . Однако в этом случае возникает необходимость передачи P_h вместе с маркированным векторным изображением, что требует дополнительных скрытых каналов передачи.

Для решения проблемы возникновения таких случаев усовершенствовано предложенный метод встраивания ЦВЗ обеспечением пригодности матриц путем изменения в каждой не более двух коэффициентов, участвующих во встраивании ЦВЗ, без изменения граничного значения P_h . При этом величина изменения каждого коэффициента является не больше чем P_h , что позволяет сохранить достаточный уровень качества изображения. Такое совершенствование не уменьшает стеганографического устойчивости самого метода встраивания ЦВЗ, при этом изменение не более двух коэффициентов обеспечивает в целом уменьшения искажения изображения.

2. Анализ предложенного метода встраивания ЦВЗ в векторные изображения

В работе [7] проведен анализ предложенного метода встраивания ЦВЗ в векторные изображения относительно уровня искажения изображений вследствие встраивания ЦВЗ и сравнение его с известным методом Войта-Янга-Буша, который базируется на одномерном ДКП. Анализ проведен для нескольких типов векторных географических карт, различных ЦВЗ по размеру и формату, который показал, что предложенный метод обеспечивает среднее отклонение координат точек меньше до 30 раз, а среднюю погрешность отклонений координат точек до 4 раз в сравнении с известным методом.

Также проведен анализ предложенного метода встраивания ЦВЗ при использовании отбора подходящих матриц коэффициентов ДКП и сравнение его, когда отбор пригодных матриц не проводится, а также по сравнению с известным методом Войта-Янга-Буша. Анализ показал, что использование условий отбора подходящих матриц ДКП обеспечивает уменьшение максимального отклонения координат точек в 20 раз, чем без использования, и до 70 раз по сравнению с известным методом Войта-Янга-Буша. При этом суммарная погрешность и среднее отклонение координат точек меньше в 15 раз. Также получен ряд разностных и корреляционных показателей, используемых для оценки стеганографических методов, результаты которых показали, что предложенному методу с использованием отбора подходящих матриц соответствуют лучшие разностные показатели по сравнению с известным методом Войта-Янга-Буша. Полученные корреляционные показатели показывают меньшие нарушения корреляции между точками изображения вследствие встраивания ЦВЗ до 30 раз, что также показывает повышение устойчивости предложенного метода к злонамеренным атакам.

Проведенный анализ устойчивости предложенного метода к активным вредоносным атакам, направленных на осложнение извлечения ЦВЗ правообладателем, показал достаточно высокий уровень устойчивости метода, в частности к повороту изображения (при повороте на 15 градусов погрешность распознавания битов составила 16%), к масштабированию изображения (при масштабировании на 3 % и 100% ошибка распознавания составила 0% и 55% битов соответственно), а также абсолютную устойчивость

к смещению векторного изображения.

Анализ устойчивости предложенного метода к атаке внесения дополнительного шума показал, что при внесении шума с увеличением суммарной погрешности отклонений координат от начальной в 5,7 раз (полная деградация изображения) ошибка распознавания составляет всего 33,46% неправильно распознанных битов.

Проведенный анализ вычислительной сложности предложенного метода встраивания ЦВЗ показал, что встраивание ЦВЗ требует в 2 раза больше арифметических операций чем для вытягивания, что объясняется необходимостью выполнения методом более 90% операций для проведения ДКП, которое при встраивании выполняется два раза, а при вытягивании ЦВЗ только один.

Также было проведено сравнение вычислительной сложности с известным методом Войта-Янга-Буша, результаты которого показали, что предложенный метод имеет в 3 раза большую вычислительную сложность процесса встраивания и извлечения ЦВЗ. Однако предложенный метод дает существенные преимущества, поскольку в нем используется двумерное ДКП и 1 бит ЦВЗ встраивается в блок из 64 коэффициентов, что обеспечивает меньший уровень искажений и лучшую устойчивость к пассивным атакам путем статистического исследования. Кроме того, если согласно предложенного метода в одну матрицу ДКП встраивать большее количество битов ЦВЗ, то его вычислительная сложность будет незначительно увеличиваться, в то время как сложность метода Войта-Янга-Буша будет прямо пропорционально расти количеству встраиваемых ЦВЗ.

Так, в частности при встраивании 8 бит ЦВЗ предложенный метод при достаточном уровне устойчивости будет обеспечивать почти в 2 раза меньшую вычислительную сложность чем метод Войта-Янга-Буша и при этом будет иметь меньший уровень искажения изображения вследствие встраивания ЦВЗ.

Заключение

В работе рассмотрен метод обработки векторных изображений обеспечивающий их защиту цифровыми водяными знаками с обеспечением уменьшения влияния его встраивания на качество изображения. Особенностью метода является то, что использование в нем двумерного ДКП для матриц размером 8×8 и внедрения бит ЦВЗ путем незначительного изменения в них высокочастотных коэффициентов позволяют обеспечить

уменьшение уровня искажения изображения вследствие встраивания ЦВЗ по сравнению с известными методами.

Результаты проведенных исследований уровня искажения векторных изображений вследствие встраивания ЦВЗ показали, что предложенный метод обеспечивает меньшие значения суммарной погрешности отклонений координат точек и максимального отклонения координат точек. При этом предложенный метод обеспечивает достаточный уровень устойчивости к наиболее распространенным злонамеренным атакам.

Литература

- [1] В.О. Хорошко, О.Д. Азаров, М.С. Шелест, Ю.С. Яремчук. *Основи комп'ютерної стеганографії*. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ. – 2003. – 143 с.
- [2] Liangbin Zheng, Yulu Jia, Qun Wang. *Research on Vector Map Digital Watermarking Technology // First International Workshop on Education Technology and Computer Science – 2009*. – P. 303-307.
- [3] M. Voigt, B. Yang and C. Busch. *Reversible watermarking of 2D vector data // ACM Multimedia and Security Workshop*. – 2004, – P. 160-165.
- [4] Карпинець В.В., Яремчук Ю.С. *Вирішення проблеми погіршення якості векторних зображень при вбудовуванні цифрових водяних знаків // Правове, нормативне, та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні – 2010. – № 1(20). – С.73-83.*
- [5] Карпинець В. В., Яремчук Ю. С. *Аналіз впливу цифрових водяних знаків на якість векторних зображень // Сучасний захист інформації. – 2011. – №1. – С.72-82.*
- [6] Карпинець В. В., Яремчук Ю. С. *Зменшення відхилень координат точок внаслідок вбудовування цифрових водяних знаків у векторні зображення // Правове, нормативне, та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні – 2010. – № 2(21). – С.69-78.*
- [7] Карпинець В. В., Яремчук Ю. С. *Аналіз рівня спотворень векторних зображень внаслідок вбудовування цифрових водяних знаків / В.В. Карпинець, Ю.С. Яремчук // Сучасний захист інформації. – 2011. – №2. – С.94 – 99*

Сведения об авторах

Карпинець Василий Васильевич. Винницкий национальный технический университет – ком-

пьютерные системы и сети (2006). К.т.н. (2012), доцент (2014); Винницкий национальный технический университет, кафедра менеджмента и безопасности информационных систем. Научные интересы: цифровая стеганография, обработка изображений.

Яремчук Юрий Евгеньевич. Винницкий национальный технический университет (1991).

Д.т.н. (2014), профессор (2015); Винницкий национальный технический университет, кафедра менеджмента и безопасности информационных систем. Научные интересы: прикладная алгебра, криптографическая и стеганографическая защита информации, безопасность информационных систем.

METHOD OF PROCESSING VECTOR IMAGES WITH PROVIDING A COPYRIGHT PROTECTION

Vasyl Karpinets¹⁾, Yuriy Yaremchuk²⁾

¹⁾²⁾ Vinnytsia NTU, 95 Khmelnytske shose, Vinnytsia, Ukraine, 21021,
e-mails: ¹⁾karpinets@gmail.com, ²⁾yurevyar@vntu.net

Abstract: This paper presents a method of processing vector images that protects their copyright of digital watermarks to reduce the effect of ensuring their integration on image quality. A feature of this method is that the use of it two-dimensional discrete cosine transform and implement watermark bit by minor alterations to the high-frequency coefficients allow for a decrease in the level of distortion of the image due to the insertion of watermarks compared to known methods.

Key words: steganography, digital watermark, copyright protection, vector image, image processing.

References

- [1] **V.O. Khoroshko, O.D. Azarov, M.Ye. Shelest, Yu.Ye. Yaremchuk.** *Osnovy kompiuternoї stehanografii.* Navchalnyi posibnyk. – Vinnytsia: VDTU. – 2003. – 143 s.
- [2] **Liangbin Zheng, Yulu Jia, Qun Wang.** *Research on Vector Map Digital Watermarking Technology // First International Workshop on Education Technology and Computer Science – 2009.* – P. 303-307.
- [3] **M. Voigt, B. Yang and C. Busch.** *Reversible watermarking of 2D vector data // ACM Multimedia and Security Workshop.* – 2004, – P. 160-165.
- [4] **Karpinets V.V., Yaremchuk Yu.Ye.** *Vyrishennia problemy pohirshennia yakosti vektornykh zobrazen pry vbudovuvanni tsyfrovykh vodianykh znakov // Pravove, normatyvne, ta metrolohichne zabezpechennia systemy zakhystu informatsii v Ukraini – 2010. – # 1(20). – S.73-8*
- [5] **Karpinets V. V., Yaremchuk Yu. Ye.** *Analiz vplyvu tsyfrovykh vodianykh znakov na yakist vektornykh zobrazen // Suchasnyi zakhyst informatsii. – 2011. – #1. – S.72-82.*
- [6] **Karpinets V. V., Yaremchuk Yu. Ye.** *Zmenshennia vidkhylen koordynat tochok vnaslidok vbudovuvannia tsyfrovykh vodianykh znakov u vektorni zobrazhennia // Pravove, normatyvne, ta metrolohichne zabezpechennia systemy zakhystu informatsii v Ukraini – 2010. – # 2(21). – S.69-78.*
- [7] **Karpinets V. V., Yaremchuk Yu. Ye.** *Analiz rivnia spotvoren vektornykh zobrazen vnaslidok vbudovuvannia tsyfrovykh vodianykh znakov // V.V. Karpinets, Yu.Ye. Yaremchuk // Suchasnyi zakhyst informatsii. – 2011. – #2. – S.94 – 99*

МЕТОД ЗА ОБРАБОТКА НА ВЕКТОРНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ОСИГУРЯВАЩ ЗАЩИТА НА АВТОРСКИТЕ ПРАВА

Василий Карпинец¹⁾, Юрий Яремчук²⁾

*¹⁾²⁾ Винницкий НТУ, 21021 Украина, г. Винница, Хмельницкое шоссе, 95,
e-mails: ¹⁾karpinets@gmail.com, ²⁾yurevyar@vntu.net*

Резюме: В доклада е представен метод за обработка на векторни изображения, който осигурява защитата на авторските права с цифрови водни знаци, осигуряващи намаляване на влиянието от тяхното вграждане върху качеството на изображението. Особеност на този метод е, че използването в него на двумерно дискретно косинусно преобразуване и вграден бит ЦВЗ чрез незначително изменение в неговите високочестотни коефициенти осигурява намаляване нивото на изкривявания на изображението в резултат на вграден ЦВЗ в сравнение с известните методи.

Ключови думи: стеганография, цифров воден знак, защита на авторското право, векторни изображения, обработка на изображения.