

МЕТОД ЦИФРОВОГО ВОДЯНОГО ЗНАКА ДЛЯ ЗАЩИТЫ QR-КОДА. ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К НЕАФФИННЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯМ

На сегодняшний день QR-коды получают широкое распространение и использование, а потому требуют привлечения технологий защиты информации, таких как внедрение цифрового водяного знака (ЦВЗ). При считывании QR-кода камерой мобильного устройства изображение с внедренным ЦВЗ претерпевает возмущения, которые в общем случае могут быть формализованы как неаффинные преобразования. В статье проводится усовершенствование метода внедрения ЦВЗ для защиты контента QR-кода путем повышения его устойчивости к неаффинным преобразованиям изображения. По результатам проведенного вычислительного эксперимента с использованием алгоритма обработки изображения TILT (Transform Invariant Low-rank Texture) проведено уточнение значения параметра метода внедрения ЦВЗ в QR-код, которое обеспечивает 100% верно восстановленного сообщения ЦВЗ в процессе проверки целостности QR-кода.

Ключевые слова: QR-код, цифровой водяной знак, устойчивость, неаффинные преобразования.

Введение. На сегодняшний день одним из наиболее удобных и распространенных способов кодирования и маркировки продукции является QR-код (от quick response – быстрый ответ, быстрое реагирование) [1]. QR-код широко используется, и почти вся печатная информация (рекламные и информационные плакаты, этикетки различных товаров, объявления и т.д.) дублируется при помощи QR-кода или сопровождается ним.

Кроме того, в данный момент ведутся работы по разработке противоконтрафактной системы защиты продукции [2] на основании метода цифрового водяного знака (ЦВЗ) для проверки целостности QR-кода [3, 4].

Анализ последних исследований и публикаций. Согласно методу [3] для нанесения ЦВЗ предлагалась коррекция значений так называемого «квадрата» QR-кода в зависимости от бита внедряемого сообщения ЦВЗ, как показано на рис. 1.

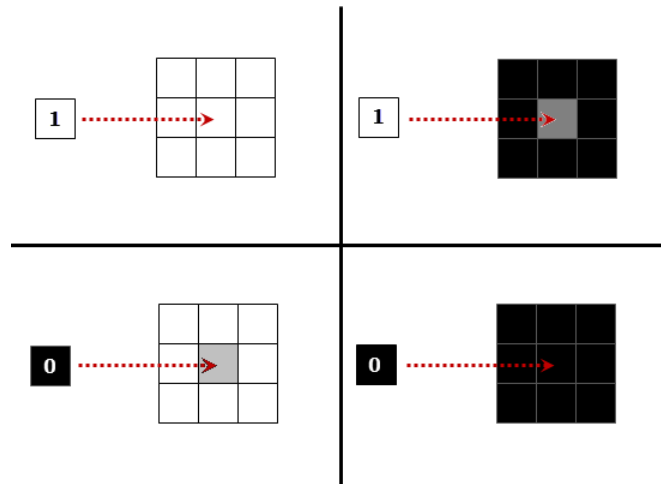


Рис. 1. Коррекция значений «квадрата» QR-кода в зависимости от бита внедряемого сообщения ЦВЗ

При этом коррекция значений среднего пикселя «квадрата» QR-кода на некоторое значение $\pm \Delta$ необходима только в двух случаях из четырех [3]: при встраивании единицы в квадрат черных пикселей ($+\Delta$) и нуля в квадрат белых пикселей ($-\Delta$). Новое значение среднего пикселя квадрата QR-кода для каждой из компонент $\{R, G, B\}$ в этих случаях

$$\bar{p}_{i,j} = \begin{cases} p_{i,j} - \Delta, & p_{i,j} = 255, \\ p_{i,j} + \Delta, & p_{i,j} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $p_{i,j}$ и $\bar{p}_{i,j}$ – значения яркости среднего пикселя квадрата QR-кода до и после коррекции соответственно; Δ – значение коррекции, некоторое неотрицательное значение из интервала $(0,127)$.

Извлечение каждого бита ЦВЗ происходит в соответствии с формулами

$$\bar{\Delta} = \frac{p_{i-1,j-1} + p_{i-1,j} + p_{i-1,j+1} + p_{i,j-1} + p_{i,j+1} + p_{i+1,j-1} + p_{i+1,j} + p_{i+1,j+1}}{8} - p_{i,j},$$

$$m_k = \begin{cases} 1, & \bar{\Delta} \leq -\Delta, \bar{\Delta} + p_{i,j} \leq 127, \\ 0, & \bar{\Delta} > -\Delta, \bar{\Delta} + p_{i,j} \leq 127, \\ 0, & \bar{\Delta} \geq \Delta, \bar{\Delta} + p_{i,j} > 127, \\ 1, & \bar{\Delta} < \Delta, \bar{\Delta} + p_{i,j} > 127, \end{cases}$$

где $p_{i,j}$ – значения яркости среднего пикселя квадрата QR-кода после считывания; Δ – значение коррекции из формулы (1); m_k – извлеченный k -й бит сообщения ЦВЗ.

При разработке метода [3] вычислительный эксперимент по внедрению и извлечению сообщения ЦВЗ из QR-кода, на основании которого были даны рекомендации для значения $\Delta=17$, был проведен в идеальных условиях, когда камера мобильного устройства располагалась параллельно плоскости изображения QR-кода. При этом значение $\Delta=17$ было выбрано как такое, что приводит к наименьшим визуальным искажениям изображения QR-кода, но гарантирует 100% верно восстановленного сообщения ЦВЗ.

Известно, что наклон камеры относительно плоскости изображения приводит после считывания к его значительным геометрическим искажениям, которые могут быть формализованы как неафинное преобразование изображения [5], в связи с чем актуальна цель данной работы.

Целью является усовершенствование метода [3] за счет применения алгоритма восстановления изображения после геометрического искажения при его считывании камерой

мобильного устройства для повышения устойчивости указанного метода к неаффинным преобразованиям.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ эффективности работы метода внедрения ЦВЗ в QR-код при считывании изображения камерой мобильного устройства в реальных условиях (при наклоне камеры мобильного устройства относительно плоскости изображения);

2. Исследовать алгоритмы восстановления изображения после геометрического искажения, которое может быть формализовано как неаффинное преобразование, и предложить алгоритм для решения задачи восстановления изображения QR-кода;

3. Провести вычислительный эксперимент с различными значениями коррекции Δ для оценки эффективности предложенного усовершенствования метода внедрения ЦВЗ в QR-код.

Изложение основного материала. Анализ работы метода внедрения ЦВЗ в QR-код [3] при считывании изображения камерой мобильного устройства в реальных условиях (а именно: при наклоне камеры мобильного устройства относительно плоскости изображения) подтвердил необходимость его усовершенствования для возможности использования в случае геометрического искажения изображения QR-кода.

Пример изображения QR-кода при считывании камерой в реальных условиях приведен на рис. 2. При этом легко заметить, что прямоугольное до считывания камерой изображение QR-кода после считывании претерпевает геометрическое искажение, при котором параллельные прямые преобразуются в непараллельные. Такое искажение изображения приводит к значительному искажению сообщения ЦВЗ при извлечении, т.е. можно говорить о чувствительности метода [3] к неаффинным преобразованиям изображения QR-кода.



Рис. 2. Пример изображений QR-кода: оригинал (а); при считывании камерой в реальных условиях (б)

Следует отметить, что проиллюстрированные искажения при считывании камерой мобильного устройства не редкость. Кроме того, бывают случаи, когда избежать подобных геометрических искажений принципиально невозможно даже при наличии специализированного оборудования. Например, QR-код может быть размещен на этикетке, которая наклеивается на изогнутую поверхность изделия. В этом случае поверхность, содержащая изображение, не является плоскостью, а значит, такое изображение никак не может быть считано камерой без внесения в него геометрических искажений, которые интерпретируются как неаффинные преобразования.

Для преодоления описанных сложностей в процессе считывания сообщения ЦВЗ камерой мобильного устройства, очевидно, необходимо использовать алгоритм восстановления изображения после неаффинного преобразования. Однако, сложность поставленной задачи обусловлена не столько выбором алгоритма для восстановления изображения, сколько исследованием влияния работы этого алгоритма на возможность считывания сообщения ЦВЗ и самого QR-кода после восстановления.

В результате проведенного анализа современных алгоритмов восстановления изображения после геометрических искажений [6, 7], которые могут быть формализованы как неаффинные преобразования, для решения задачи восстановления изображения QR-кода после считывания камерой мобильного устройства в реальных условиях рекомендуется использование алгоритма TILT (Transform Invariant Low-rank Texture) [8].

На рис. 3 приведен пример работы алгоритма TILT для восстановления изображения QR-кода с нанесенным сообщением ЦВЗ.



Рис. 3. Пример изображения QR-кода с нанесенным сообщением ЦВЗ: после считывания камерой (а); после восстановления при помощи алгоритма TILT (б)

Задачей исследования является уточнение значения коррекции Δ в (1) для обеспечения высокого процента верно восстановленного сообщения ЦВЗ и как можно меньших визуальных искажений изображения QR-кода. Высокий процент верно восстановленного сообщения ЦВЗ может быть обеспечен большими значениями коррекции Δ , однако такие Δ гарантированно приводят и к большим визуальным искажениям изображения QR-кода. Минимальные визуальные искажения необходимы для возможности считывания QR-кода стандартными средствами. Это требование является обязательным и было заявлено еще до начала разработки метода проверки целостности QR-кода средствами технологии внедрения цифрового водяного знака [3, 4].

Для уточнения значения коррекции Δ проведен вычислительный эксперимент с участием более 100 изображений QR-кода с внедренным сообщением ЦВЗ при разных значениях Δ (от 17 до 100 с шагом 1), полученных при помощи камеры смартфона. Перед извлечением сообщения ЦВЗ изображение QR-кода восстанавливалось при помощи алгоритма TILT. Результаты эксперимента приведены в таблице.

Результаты вычислительного эксперимента показали, что при значениях Δ от 33 до 90 происходит полное извлечение сообщения ЦВЗ и при этом есть возможность считывания QR-кода стандартными средствами (для распознавания QR-кода использовалось приложение QR Droid 6.3). Меньшие значения Δ приводят к потере сообщения ЦВЗ после восстановления изображения QR-кода алгоритмом TILT, а большие – к значительному искажению QR-кода и невозможности его считывания стандартными средствами.

Таблица

Результаты извлечения сообщения ЦВЗ при восстановлении изображения алгоритмом TILT после считывания камерой мобильного устройства в реальных условиях

Значения Δ	Возможность считывания QR-кода стандартными средствами	Процент верно восстановленного сообщения ЦВЗ
17 ÷ 32	+	Сообщение ЦВЗ не восстановлено
33 ÷ 90	+	100%
91 ÷ 100	–	100%

Следует также отметить, что при выборе значения Δ критерий надежности восприятия изображения QR-кода не рассматривался, так как ее нарушение происходило уже при значениях $\Delta > 10$. Кроме того, такое требование не является обязательным для проверки целостности цифровых изображений средствами ЦВЗ, как и в данном случае. Таким образом, новое рекомендованное значение коррекции Δ следует выбирать из промежутка от 33 до 90.

Выводы. В работе проведено усовершенствование метода внедрения ЦВЗ в QR-код для возможности его использования в реальных условиях. Для этого предлагаются следующие изменения для оригинального метода [3]:

1. При внедрении сообщения ЦВЗ в QR-код (1) использовать одно из значений коррекции Δ от 33 до 90;

2. В процессе проверки ЦВЗ после считывания изображения камерой мобильного устройства перед извлечением сообщения ЦВЗ применить алгоритм восстановления изображения TILT.

Предложенное в работе усовершенствование метода [3] дает возможность разработки работоспособной противоконтрафактной системы проверки продукции на основе проверки целостности QR-кода в соответствии с [2].

ЛИТЕРАТУРА:

1. What is a QR-code? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.qrcode.com/en/>.
2. Narimanova E.V. Development of anti-counterfeit consumer product authentication system / E.V. Narimanova // Odes'kyi Polytechnichnyi Universytet. Pratsi – 2015. – № 2 (46) – С.124 –127.
3. Наріманова О.В. Метод цифрового водяного знаку для захисту QR-коду / О.В. Наріманова, Д.М. Семенченко // «Інформатика та математичні методи в моделюванні». – Одеса, ОНПУ. – 2013. – №4 (Том 3). – С.361 - 368.
4. Наріманова О.В. Перевірка цілісності та автентичності QR-коду / О.В. Наріманова // Тези доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції “Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє”. – К.: ВІКНУ, 2014. – С.63.
5. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений. – СПб.: «БХВ-Петербург», 2011. – 608 с.
6. Ермаков В.А. Восстановление геометрических искажений изображений при считывании камерой мобильного устройства / В.А. Ермаков // Інформатика, інформаційні системи та технології: XII Всеукраїнська конференція студентів і молодих науковців. Одеса, 3 квітня 2015р. – Одеса, 2015. – С. 54.
7. Ермаков В.О. Відновлення зображення QR-коду після зчитування камерою мобільного пристрою / В.О. Ермаков // Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-Одеса-2015): Матеріали міжнародної науково-практичної конференції / відп. ред. В.В. Вичужанін. – Одеса: ОНМА, 2015. – С.196 - 197.
8. Zhengdong Zhangy, Xiao Liangy, Arvind Ganeshz, and Yi Ma. TILT: Transform Invariant Low-rank Textures: [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://perception.csl.illinois.edu/matrix-rank/Files/TILT_IJCV.pdf

Рецензент: д.т.н., проф. Мокрицкий В.А., профессор кафедры информационных технологий проектирования в электронике и телекоммуникациях Одесского национального политехнического университета

к.т.н., доц. Наріманова О.В., Ермаков В.О.

МЕТОД ЦИФРОВОГО ВОДЯНОГО ЗНАКУ ДЛЯ ЗАХИСТУ QR-КОДУ. ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО НЕАФІННИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

На сьогоднішній день QR-коди набувають широкого розповсюдження та використання, а тому потребують залучення технологій захисту інформації, таких як нанесення цифрового водяного знаку (ЦВЗ). При зчитуванні QR-коду камерою мобільного пристрою зображення з нанесеним ЦВЗ зазнає збурень, що у загальному випадку можуть бути формалізовані як неафінні перетворення. У статті проводиться удосконалення методу нанесення ЦВЗ для захисту контенту QR-коду через підвищення його стійкості до неафінних перетворень зображення. За

результатами проведеного обчислювального експерименту з використанням алгоритму обробки зображення TILT (Transform Invariant Low-rank Texture) проведено уточнення значення параметру методу нанесення ЦВЗ на QR-код, що забезпечує 100% вірно вилученого повідомлення ЦВЗ в процесі перевірки цілісності QR-коду.

Ключові слова: QR-код, цифровий водяний знак, стійкість, неафінні перетворення.

Ph.D. Narimanova O.V., Yermakov V.O.

DIGITAL WATERMARK METHOD FOR QR-CODE PROTECTION. INCREASING THE RESISTANCE TO NON-AFFINE TRANSFORMS

Today, QR-codes are widespread and wideused, and therefore they require the use of technologies of information security, such as digital watermarking (DW). When reading the QR-code using mobile device camera the image with inserted DW undergoes disturbances that generally can be formalized as a non-affine transform. In the article it is carried out the improving of method of the QR-code content protection by DW insertion due to the increasing of method's resistance to non-affine image transform. According to the results of computational experiment using image processing algorithm TILT (Transform Invariant Low-rank Texture) a refinement of DW insertion method's parameter is conducted, which provides 100% correctly restored DW message during the QR- code integrity check.

Keywords: QR-code, digital watermark, resistance, non-affine transforms.