

Использование спектрального вторичного контейнера в методе защиты видео с помощью фазовых ЦВЗ

Д.А. Шапиро

Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
david-shapiro@mail.ru

В.В. Сергеев

Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С.П. Королева)
Самара, Россия
vs Serg@geosamara.ru

Аннотация— В работе предложен новый метод защиты видео с помощью фазовых цифровых водяных знаков (ЦВЗ), отличающийся от ранее описанного метода, использованием вторичного контейнера (дискретного спектра Фурье) обеспечивающего дополнительную защищенность видеоконтента. Защитная информация (бинарный QR-код) встраивается в дискретный спектр ЦВЗ, который затем переводится в пространство в виде полутонного шумоподобного изображения, встраиваемого в фазы синусоид, развивающихся во времени. На примере реального видео экспериментально подтверждена работоспособность и высокая эффективность метода.

Ключевые слова— защита видео, цифровой водяной знак, фазовое встраивание, QR-код, дискретное преобразование Фурье

I. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы мультимедийный контент стал использоваться повсеместно в различных сферах деятельности. Увеличение популярности мультимедиа и, в частности, цифрового видео привело к возрастанию количества инцидентов, связанных с нарушением авторских прав на контент. Одним из распространённых способов защиты видео, является встраивание в него цифровых водяных знаков (ЦВЗ) [1]. Ранее в работе [2] был предложен метод защиты, основанный на использовании фазовых ЦВЗ. Суть данного метода состоит в добавлении к каждому пикселю цифрового видео малозаметной синусоидальной последовательности, развивающейся во времени и имеющей индивидуальную фазу. Двумерное поле этих фаз соответствует изображению встраиваемого ЦВЗ, которое постепенно, по мере накопления информации начинает проявляться в каждом кадре.

В качестве изображения ЦВЗ, встраиваемого в фазу, мы используем бинарный QR-код. Это объясняется, во-первых, его популярностью и простотой извлечения из него защитной информации и, во-вторых, возможностью использования для него простого критерия качества метода – вероятности правильного извлечения каждого элемента QR-кода.

В работе [2] ЦВЗ (QR-код) встраивался непосредственно в двумерное поле фаз, что обусловило некоторые недостатки метода. При визуальной незаметности ЦВЗ, он может довольно легко обнаруживаться путем компьютерного стегоанализа, если злоумышленнику известен сам принцип

встраивания. Кроме того, для извлечения ЦВЗ легальный пользователь вынужден определять его положение в плоскости кадра.

Модификация ранее предложенного метода состоит в переносе QR-кода в спектральную область ЦВЗ, она эксплуатирует идею вторичного контейнера, впервые сформулированную в работе [3]. Теперь изображение, встраиваемое в поле фаз, вычисляется при помощи обратного двумерного дискретного преобразования Фурье (ДПФ) от QR-кода. Оно имеет внешне хаотический вид, напоминающий естественный шум видеосенсора. Более того, в силу свойств ДПФ [4], это изображение может быть периодически продолжено на весь кадр видео, после чего извлечение ЦВЗ становится возможным из любой части кадра.

II. АЛГОРИТМЫ ВСТРАИВАНИЯ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦВЗ

В целом алгоритмы встраивания и извлечения ЦВЗ совпадают с алгоритмами, описанными в [2]. На этапе встраивания каждый пиксел видео суммируется с синусоидальной последовательностью:

$$x(m, n_1, n_2) = x_0(m, n_1, n_2) + w(m, n_1, n_2) \quad (1)$$

где x_0 – кадр исходного видео, m – номер кадра, n_1, n_2 – координаты пикселя в кадре, а w – встроенный ЦВЗ:

$$w(m, n_1, n_2) = A \sin(\theta m + \varphi(n_1, n_2)) \quad (2)$$

где A – амплитуда колебания, θ – опорная частота, $\varphi(n_1, n_2)$ – фаза, т.е. встраиваемое в видео двумерное изображение ЦВЗ. Ранее в качестве такого изображения мы использовали бинарный QR-код, хотя следует заметить, что сам метод встраивания не налагает на изображение ЦВЗ требование бинарности. В модифицированном методе изображение ЦВЗ сразу получается полутонным, как результат выполнения обратного ДПФ над бинарным спектром - QR-кодом:

$$\{\varphi(n_1, n_2)\} = \text{ОДПФ}\{(\Phi(k_1, k_2))\} \quad (3)$$

где ОДПФ – оператор обратного преобразования, $\Phi(k_1, k_2)$ комплекснозначный дискретный спектр (QR-код):

$$\begin{aligned} \Phi(k_1, k_2) &= \Phi^*(K - k_1, K - k_2) \\ &= \begin{cases} e^{i\xi(k_1, k_2)} & \text{при } \{k_1, k_2\} \in D_{QR}, \\ 0 & \text{иначе,} \end{cases} \quad 0 \leq k_1, k_2 \leq K - 1, \end{aligned} \quad (4)$$

(*) – знак комплексного сопряжения, K – размер двумерного дискретного спектра (квадратного),

$\xi(k_1, k_2)$ – случайные величины, лежащие в диапазоне $[0, 2\pi)$, D_{QR} – область, соответствующая единичным значениям элементов QR-кода. Симметричное отображение спектра в (4) обеспечивает вещественность изображения $\varphi(n_1, n_2)$ [4]. Использование комплексных экспонент со случайными показателями вместо единиц исключает кумулятивный эффект от сложения косинусоидальных спектральных компонент, приводящих к аномально большому значению $\varphi(0, 0)$.

При извлечении ЦВЗ сначала применяется алгоритм, описанный в работе [2], затем полученное фазовое изображение переводится в спектр:

$$\Phi(k_1, k_2) = \text{ДПФ}\{\varphi(n_1, n_2)\}, \quad (5)$$

где ДПФ – оператор прямого преобразования.

После чего вычисляются модули спектральных компонент, являющиеся искомыми элементами бинарного QR-кода. К полученной последовательности извлеченных бинарных изображений дополнительно применяется процедур экспоненциального сглаживания с помощью ЛИС-системы [4].

III. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА

Для оценки эффективности предложенного метода рассматривалось встраивание ЦВЗ в тестовый фрагмент видео “RealBarca”, состоящий из 300 кадров. Это видео, представляющее собой смонтированную нарезку опасных моментов футбольного матча, является достаточно динамичным и включает в себя несколько монтажных склеек. Размер каждого кадра - 1920x1080 пикселей, что позволило использовать вторичный контейнер размером 1024x1024. В эксперименте использовался QR-код размером 49x49, размещенный в низкоотной области спектра симметрично относительно нулевой вертикальной координаты (это обеспечило относительную изотропность полутонного изображения в пространственной области). На рис. 1 показан встраиваемый QR-код (модуль спектра, вычисляемого по формуле (4)) и изображение ЦВЗ в пространственной области.

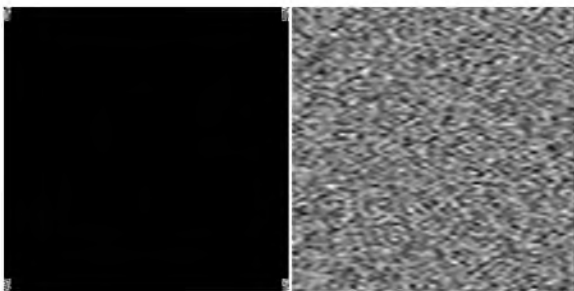


Рис. 1. ЦВЗ в спектральной и пространственной области

Значение опорной частоты было зафиксировано на уровне $\theta = 3$. Попытка извлечения ЦВЗ происходила каждые 10 кадров. На рис. 2 показаны графики точности (вероятности правильного извлечения каждого элемента QR-кода) предложенного метода в зависимости от номера кадра и для нескольких значений амплитуды синусоиды (2), добавляемой к видео.

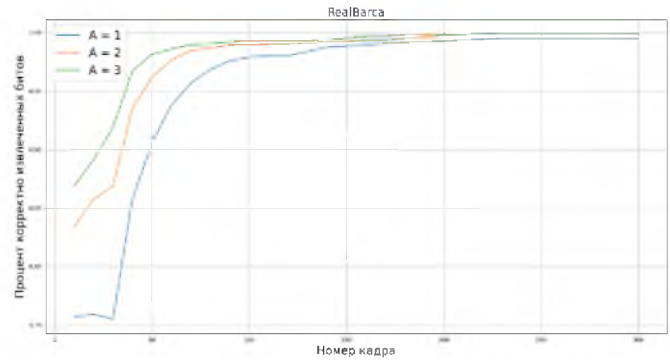


Рис. 2. Точность извлечения ЦВЗ при различных амплитудах

Благодаря расположению ЦВЗ в области кадра с определенной периодичностью, итоговое значение QR-кода будет рассчитываться в результате усреднения извлеченного результата по разным фрагментам итогового кадра. Из полученных графиков видно, что даже при минимальной амплитуде встраиваемого ЦВЗ ($A=1$) достаточно 200 кадров, чтобы QR-код извлекался безошибочно.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предложен новый метод защиты видео с помощью фазовых ЦВЗ, отличающийся от метода, описанного в работе [2], использованием вторичного контейнера (дискретного спектра Фурье) обеспечивающего дополнительную защищенность видеоконтента и удобство извлечения защитной информации. Экспериментально подтверждена работоспособность и высокая эффективность метода.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-71-10097, <https://rscf.ru/project/22-71-10097/>.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Luo, X. DVMark: a deep multiscale framework for video watermarking. / X. Luo, Y. Li, H. Chang, C. Liu, P. Milanfar, F. Yang // IEEE Transactions on Image Processing. – 2023. DOI: 10.1109/TIP.2023.3251737.
- [2] Sergeyev, V. Phase watermarking method for video copyright protection / V. Sergeyev, V. Fedoseev, D. Shapiro // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2022. – Vol. 58. – P. 3-13. DOI: 10.15372/AUT20220501.
- [3] Выборнова, Ю.Д. Метод защиты векторных карт с использованием изображения ЦВЗ как вторичного контейнера / Ю.Д. Выборнова, В.В. Сергеев // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 3. – С. 474-483. – DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-3-474-483.
- [4] Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – 2-е изд. испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.