

УДК 004.056.5

ФОРМАЛЬНЫЕ ДОСТАТОЧНЫЕ УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕГАНОАЛГОРИТМА В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБЛАСТИ КОНТЕЙНЕРА-ИЗОБРАЖЕНИЯ

Д. т. н. А. А. Кобозева¹, О. В. Костырка²¹Одесский национальный политехнический университет;²Академия пожарной безопасности им. Героев Чернобыля, г. Черкассы
Украина

Alla_kobozeva@ukr.net, chaykaov@rambler.ru

В работе впервые получено формальное достаточное условие обеспечения устойчивости стеганоалгоритма к возмущающим воздействиям при организации стеганопреобразования в пространственной области контейнера-изображения. Учет полученного условия даст возможность для разработки новых эффективных в условиях активных атакующих действий стеганоалгоритмов. Основным математическим инструментом является матричный анализ.

Ключевые слова: стеганоалгоритм, устойчивость к возмущающим воздействиям, матрица, пространственная область изображения.

Стеганография – одно из наиболее древних направлений решения задачи защиты информации от несанкционированного доступа [1]. Развитие и совершенствование комплексной системы защиты информации сегодня невозможно без наличия в ее составе эффективной стеганографической системы. В силу этого остро встают вопросы обеспечения различных требований, предъявляемых в любому стеганоалгоритму (СА), среди которых одним из основных является требование устойчивости к различным возмущающим воздействиям, которые претерпевает стеганообобщение (СС) в канале атаки.

На протяжении долгого времени считалось, что для обеспечения помехоустойчивости СА предпочтительной для погружения дополнительной информации (ДИ) является область преобразования изображения (ЦИ), которое в настоящей работе выступает в качестве контейнера (К) [1]. Однако, как показано в [2], обеспечение устойчивости не зависит напрямую от того, в какой области К происходит погружение ДИ. Кроме того, пространственная область (ПО) обладает рядом преимуществ при организации стеганопреобразования (СП) [3]. В силу этого *цель* работы, заключающаяся в разработке формальных условий обеспечения устойчивости СА к возмущающим воздействиям при организации СП в ПО контейнера, является *актуальной*.

Пусть B — $l \times l$ -блок матрицы изображения-контейнера, полученный путем стандартного разбиения. Для B существует представление, называемое сингулярным разложением, вида [2]: $B = U \Sigma V^T$, где U, V — ортогональные $l \times l$ -матрицы, столбцы которых $u_i, v_i, i = \overline{1, l}$, — левые и правые сингулярные векторы (СНВ) B соответственно, $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_l)$, $\sigma_1 \geq \dots \geq \sigma_l \geq 0$ — сингулярные числа (СНЧ). Если формально погружение очередных бит ДИ выражается в возмущении максимального СНЧ блока, то результатом СП будет блок \overline{B} СС, отвечающий матричному выражению: $\overline{B} = U(\Sigma + \Delta \Sigma)V^T = B + \Delta B$, где $\Delta \Sigma = \text{diag}(\Delta \sigma_1, 0, \dots, 0)$ — матрица возмущений СНЧ $\sigma_i, i = \overline{1, l}$, матрицы B в процессе СП, $\Delta B = \Delta \sigma_1 u_1 v_1^T$ — матрица возмущения блока B .

С учетом того, что СНВ u_1, v_1 блоков матрицы ЦИ, отвечающие максимальным СНЧ в случае нормального сингулярного разложения [4], в подавляющем большинстве блоков изображения близки к n -оптимальному вектору n^o пространства R^l , где $n^o = (1/\sqrt{l}, 1/\sqrt{l}, \dots, 1/\sqrt{l})^T \in R^l$, показано, что

$$\Delta B = \Delta \sigma_1 u_1 v_1^T = \Delta \sigma_1 \begin{pmatrix} u_{11} \\ u_{21} \\ \dots \\ u_{l1} \end{pmatrix} (v_{11}, v_{21}, \dots, v_{l1}) = \begin{pmatrix} \Delta \sigma_1 u_{11} v_{11} & \Delta \sigma_1 u_{11} v_{21} & \dots & \Delta \sigma_1 u_{11} v_{l1} \\ \Delta \sigma_1 u_{21} v_{11} & \Delta \sigma_1 u_{21} v_{21} & \dots & \Delta \sigma_1 u_{21} v_{l1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta \sigma_1 u_{l1} v_{11} & \Delta \sigma_1 u_{l1} v_{21} & \dots & \Delta \sigma_1 u_{l1} v_{l1} \end{pmatrix},$$

где $u_1 = (u_{11}, u_{21}, \dots, u_{l1})^T$, $v_1 = (v_{11}, v_{21}, \dots, v_{l1})^T$, т.е.

$$\Delta B \approx \begin{pmatrix} \Delta \sigma_1 / l & \dots & \Delta \sigma_1 / l \\ \dots & \dots & \dots \\ \Delta \sigma_1 / l & \dots & \Delta \sigma_1 / l \end{pmatrix}.$$

Таким образом, для обеспечения устойчивости стеганоалгоритма к возмущающим воздействиям достаточно проводить СП в пространственной области контейнера путем коррекции яркости всех пикселей очередного блока на одно и то же значение ΔB , равное $\Delta B/l$. Основным вопросом здесь при разработке конкретных стеганографических методов и алгоритмов будет заключаться в определении значений $\Delta \sigma_1, l$, обеспечивающих устойчивость алгоритмов к различным возмущающим воздействиям с учетом соблюдения надежности восприятия формируемого СС.

В работе на основе матричного анализа и теории возмущений впервые разработано формальное условие обеспечения устойчивости стеганоалгоритма к возмущающим воздействиям при организации стеганопреобразования в пространственной области контейнера-изображения.

Варьирование величины Δb (с учетом необходимости соблюдения надежности восприятия стеганосообщения) позволит обеспечить устойчивость стеганоалгоритма к конкретным возмущающим воздействиям: наложению различных шумов на СС, сжатию СС с потерями и т. д.

Учет и использование полученного достаточного условия даст возможность для разработки новых эффективных в условиях активных атакующих действий СА, осуществляющих СП в пространственной области К. Такое СП гарантированно даст выигрыш в вычислительной сложности на $O(n^2)$ операций, где $n \times n$ — размер матрицы К, по сравнению с СП (использующим разбиение матрицы К на блоки) в области преобразования контейнера.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Аграновский А. В., Балакин А. В., Грибунин В. Г., Сапожников С. А. Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ. — М.: Вузовская книга, 2009.
2. Кобозева А. А. Загальний підхід до оцінки властивостей стеганографічного алгоритму, заснований на теорії збурень // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2008. — № 1(11). — С. 164–171.
3. Костырка О. В. Анализ преимуществ пространственной области цифрового изображения-контейнера для стеганопреобразования // Информатика та математичні методи в моделюванні. — 2013. — Т. 3, № 3. — С. 275–282.
4. Кобозева А.А., Мельник М.А. Нечувствительность стеганосообщения к сжатию и формальные достаточные условия ее обеспечения // Збірник наукових праць Військового ін-ту Київського національного університету ім. Т. Шевченка. — 2012. — Вип. 38. — С. 193–203.

A. A. Kobozeva, O. V. Kostyrka

Formal sufficient condition for robustness of steganographic algorithm in the spatial domain

The authors obtain for the first time a formal sufficient condition for robustness of steganographic algorithm to disturbing influences in the organization of steganographic transformation in the spatial domain of the cover image. Taking into account the condition will make it possible to develop new effective robust steganographic algorithms. The main mathematical tool is matrix analysis.

Keywords: *steganographic algorithm, robustness, matrix, spatial domain.*