

УДК 004.056.5

## ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕГАНОАЛГОРИТМА ПУТЕМ РАЗДЕЛЕНИЯ СИНГУЛЯРНЫХ ЧИСЕЛ БЛОКОВ МАТРИЦЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ-КОНТЕЙНЕРА

К. т. н. И. И. Бобок, М. А. Мельник

Одесский национальный политехнический университет  
Украина, г. Одесса  
onu\_metal@ukr.net, ritochek@yandex.ua

*Разработаны способы разделения сингулярных чисел блоков матрицы цифрового изображения-контейнера, за счет чего повышена эффективность декодирования дополнительной информации устойчивого к атаке сжатием и к стеганоанализу стеганографического алгоритма. Предложенная разработка обеспечивает соблюдение надежности восприятия стеганосообщения.*

*Ключевые слова:* устойчивость к сжатию, устойчивость к стеганоанализу, разделение сингулярных чисел, отделенность сингулярного числа, эффективность декодирования.

Современная система защиты информации, являясь комплексной, содержит стеганографическую систему в качестве необходимой составной части [1]. К любому стеганоалгоритму предъявляется ряд требований, среди которых наиболее важным является требование устойчивости как к возмущающим воздействиям, так и к стеганоанализу [1].

В [2] был предложен стеганографический алгоритм (СА) А2, устойчивый к сжатию, в том числе со значительными коэффициентами, основанный на возмущениях сингулярных векторов (СНВ), отвечающих максимальным сингулярным числам (СНЧ) блоков матрицы контейнера-изображения, полученных в результате ее стандартного разбиения. Возмущения СНВ при погружении дополнительной информации (ДИ) проводятся с учетом их близости к  $n$ -оптимальному вектору пространства  $R^8$  [2]. Установлено, что основным возмущающим воздействием, приводящим к ошибкам при декодировании ДИ в СА А2, является округление – вычислительная погрешность.

В связи с вышесказанным актуальной является цель настоящей работы, заключающаяся в повышении эффективности декодирования ДИ алгоритмом А2 путем уменьшения чувствительности формируемого им стеганосообщения (СС) к вычислительной погрешности, а также исследование устойчивости А2 к стеганоанализу.

В оригинальном ЦИ, как правило, среди всех СНЧ  $\sigma_1 \geq \dots \geq \sigma_8 \geq 0$   $8 \times 8$ -блока  $B$  матрицы контейнера (КР) наименьшую отделенность  $svdgap(i, B)$ , определяемую в соответствии с формулой [3]:  $svdgap(i, B) = \min_{i \neq j} |\sigma_j(B) - \sigma_i(B)|$ , имеют  $\sigma_7, \sigma_8$ , что приводит к накоплению вычислительной погрешности за счет чувствительности к возмущающим воздействиям соответствующих им СНВ.

В силу этого повышение эффективности декодирования ДИ в А2 может быть достигнуто путем разделения СНЧ (РСЧ) блоков матрицы контейнера. РСЧ блока  $B$  предлагается проводить следующими двумя способами.

1. Гарантированное увеличение отделенностей всех СНЧ  $B$  в произвольном случае можно обеспечить только путем увеличения расстояния между каждой парой СНЧ с последовательными номерами. Это возможно сделать в соответствии с формулой

$$\bar{\sigma}_i = \sigma_i + (8 - i)h, \quad i = \overline{1,8}, \quad (1)$$

где  $\bar{\sigma}_i, i = \overline{1,8}$ , – СНЧ возмущенного за счет РСЧ блока. Величина  $h$  в (1) выбирается с учетом необходимости соблюдения надежности восприятия цифрового изображения (ЦИ) после РСЧ. Достижение значимого результата повышения эффективности декодирования для А2 происходит в случае, когда  $h$  сравнимо с 10 (см. таблицу), однако такое увеличение СНЧ сказывается на увеличении энергии ЦИ и, как следствие, может привести к осветлению или даже к возникновению явных артефак-

тов. Как показывает вычислительный эксперимент, такая ситуация часто возникает для затемненных ЦИ. На практике предлагается брать  $h \approx 2$ .

2. Учитывая возможное нарушение надежности восприятия ЦИ при РСЧ способом 1, предлагается проводить РСЧ путем обнуления  $\sigma_8$ , не изменяя положения остальных СНЧ. Это гарантированно приведет к увеличению  $svdgap(8, B)$  и не приведет к уменьшению отделенностей всех остальных СНЧ, хотя  $svdgap(7, B)$  может и не измениться. Способ 2 гарантирует соблюдение надежности восприятия ЦИ, хотя он гораздо менее результативен с точки зрения достижения цели работы.

В вычислительном эксперименте было задействовано 300 ЦИ, содержащих дополнительную информацию. Эффективность декодирования ДИ в алгоритме A2 оценивалась стандартным образом по среднему значению коэффициента корреляции (NC) [4] всех декодированных ЦИ. Формат стеганообщения был различным. В формате JPEG коэффициент качества  $QF$  характеризует степень сжатия ЦИ [2]. Результаты, приведенные в таблице, говорят о повышении эффективности декодирования в A2 за счет разделения СНЧ.

Результаты декодирования ДИ стеганоалгоритмом A2

Способ разделения СНЧ	Среднее значение NC по всем ЦИ для СС различного формата				
	TIF	JPEG с различной степенью сжатия			
		$QF=80$	$QF=30$	$QF=20$	$QF=10$
Без разделения РСЧ	0,9603	0,9577	0,9498	0,9454	0,9359
РСЧ способом 1, $h=10$	0,9801	0,9767	0,9634	0,9484	0,9409
РСЧ способом 1, $h=2$	0,9706	0,9617	0,9569	0,9465	0,9386
РСЧ способом 2	0,9621	0,9587	0,9507	0,9453	0,9375

Погружение ДИ в A2 задействует СНВ блоков матрицы контейнера, оставляя СНЧ практически неизменными (если не учитывать вычислительную погрешность). В силу этого A2 является достаточно устойчивым к самым современным стеганоаналитическим методам и алгоритмам [5], что подтверждается результатами представительного вычислительного эксперимента.

В настоящей работе разработаны способы разделения сингулярных чисел блоков матрицы ЦИ-контейнера с учетом требования соблюдения надежности восприятия получаемого в результате изображения. Повышена эффективность декодирования дополнительной информации устойчивым к атаке сжатием и к стеганоанализу стеганографическим алгоритмом A2 за счет уменьшения чувствительности формируемого им стеганосообщения к вычислительной погрешности.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Аграновский А. В., Балакин А. В., Грибуниин В. Г., Сапожников С. А. Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ.— Москва: Вузовская книга, 2009.
2. Кобозева А. А., Мельник М. А. Стеганографический алгоритм, основанный на sign-нечувствительности сингулярных векторов матрицы изображения // Системи обробки інформації.— 2013.— Вип. 3(110), т. 2.— С. 90–94.
3. Деммель Д. Вычислительная линейная алгебра: теория и приложения.— Москва: Мир, 2001.
4. Lin W.-H. A blind watermarking method using maximum wavelet coefficient quantization / W.-H. Lin et al. // Expert Systems with Applications.— 2009.— Vol. 36, Iss. 9.— P. 11509–11516.
5. Бобок И. И. Стеганоаналитический метод для цифрового сигнала-контейнера, хранящегося в формате с потерями // Сучасний захист інформації.— 2011.— № 2.— С. 50–60.

I. I. Bobok, M. A. Melnyk

#### **Increasing robustness of steganographic algorithm by dividing singular values of matrix blocks of cover image.**

The paper is devoted to development of steganographic algorithm robust to compression and steganalysis. The development is based on division of singular values of matrix blocks of the cover image. The proposed development ensures reliability perception of stegano message.

Keywords: *robustness to compression, robustness to steganalysis, division of singular values, separateness of singular values, decoding efficiency.*