

ВАРИОГРАММНЫЙ АНАЛИЗ СТЕГАНОГРАММ, СФОРМИРОВАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОДНОЭТАПНЫХ МЕТОДОВ СКРЫТИЯ СООБЩЕНИЙ

А. В. Фролов^{1, а}, Д. А. Прогонов¹, С. Н. Куш¹

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Аннотация

В работе проведена оценка эффективности применения вариограммного анализа стеганогамм, полученных методами встраивания данных, предложенными N. Dey и S. Agarwal, в изображения-контейнеры с разрешением UHD-4K

Ключевые слова: цифровая стеганография, пассивный стегоанализ, вариограммный анализ

Введение

Появление новых и модернизация существующих методов цифровой стеганографии, существенно затрудняет процесс пассивного стегоанализа (ПС), поскольку высокое качество настройки стегодетектора (СД) требует использования все большего количества параметров изображения-контейнера (ИК). Одной из причин повышения сложности ПС является применение специальных методов обработки как ИК, так и скрываемых сообщений (например, сингулярного разложения [1]), приводящей к минимизации основных демаскирующих признаков стеганогамм. Вследствие этого существенно возрастает сложность процедуры настройки СД, а также требования к объему тестовой выборки изображений. В связи с этим представляет интерес поиск кластеров признаков ИК минимальной мощности, использование которых позволит обеспечить заданную вероятность выявления стеганогамм.

Ранее авторами было показано [2], что применение метода численной оценки пространственной корреляции данных – вариограммного анализа (ВА) – позволяет с высокой точностью выявлять стеганогаммы с данными, встроенными в частотной области цифровых изображений (ЦИ). Представляет интерес исследование эффективности применения ВА в случае использования специальных методов обработки ЦИ.

В данной работе рассматривается случай применения наиболее распространенных одноэтапных методов формирования стеганогамм – метода Дея [3] (скрытие сообщений в частотной области ИК), а также метода Агарвала [1] (встраивание стегоданных с использованием сингулярного разложения матриц цифровых изображений).

Целью работы является сравнительный анализ эффективности применения ВА для обнаружения стеганогамм с данными, встроенными как в частот-

ной области ИК, так и с применением сингулярного разложения матриц цифровых изображений (ЦИ).

1. Вариограммный анализ

Вариограммный анализ является одним из стандартных методов исследования корреляционных характеристик пространственно-временных моделей.

Известно, что ковариация и корреляция являются мерами схожести между двумя различными переменными. Применяя эти определения к пространственным моделям, изображают график распределения, в котором пары значений элементов ряда (сигнала) представляют собой измерения одной и той же величины, сделанные на определенном расстоянии (англ. “lag” distance) друг от друга.

Для набора пар значений вида $[z(u_a), z(u_{a+h})]$ количеством $N(h)$ для заданного отклонения h можно вычислить ковариацию $C(h)$, корреляцию $\rho(h)$ и (полу-) вариацию $\gamma(h)$ согласно следующих формул [4]:

$$C(h) = 1/N(h) \sum_{a=1}^{N(h)} z(u_a)z(u_{a+h}) - m_0m_{+h}$$

$$\rho(h) = \frac{C(h)}{\sqrt{\sigma_0\sigma_{+h}}}$$

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{a=1}^{N(h)} [z(u_{a+h}) - z(u_a)]^2$$

где m_{+h} и σ_{+h} соответствуют среднему значению и среднеквадратичному отклонению элементов ряда, отстоящих на h позиций относительно текущего элемента.

Для набора векторов h можно построить графические зависимости полученных мер, именуемые, соответственно, функцией ковариации, коррелограммой и (полу-) вариограммой 1.

^аantonf.vit@gmail.com

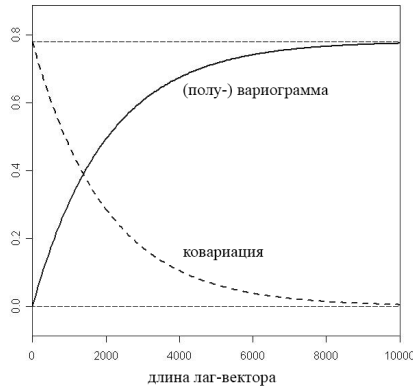


Рис. 1. Пример графиков функции ковариации и вариограммы

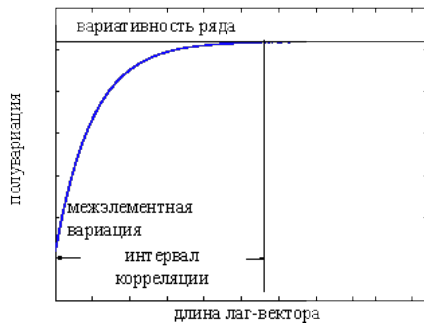


Рис. 2. Пример характеристик вариограммы

Основными характеристиками вариограммы являются:

- **вариативность ряда** (англ. sill) – характеризует усредненное значение вариации яркости пикселей строки\столбца ИК при устремлении длины интервала h к бесконечности;
- **интервал корреляции** (англ. range) – отвечает интервалу h_{max} , на котором сохраняется корреляция значений яркости пикселей на уровне δ_r ;
- **межэлементная вариация** (англ. nugget) – характеризует усредненную вариацию значений яркости соседних пикселей;

Данные характеристики продемонстрированы на рисунке 2.

В данной работе, аналогично к [2] анализ стеганогамм проводился в виде трех этапов:

- 1) Расчет зависимости усредненной вариации значений яркости пикселей строки\столбца ИК $2\gamma(h)$ от величины интервала h между ними;
- 2) Аппроксимация $2\gamma(h)$ двумя методами – экспоненциальным и гауссовским. Выбор аппроксимирующей кривой проводился по минимальному значению среднеквадратического отклонения;
- 3) 3) Определение характеристик вариограммы с использованием полученной аппроксимации.

2. Метод Дея (N. Dey, A. B. Roy, S. Dey)

Данный метод основан на скрытии сообщений в частотной области ИК используя двумерное дискретное вейвлет преобразование (ДДВП) [3]. Формиро-

вание стеганогамм проводилось путем взвешенного суммирования коэффициентов ДДВП контейнера K_{cover} и стегоданных, представленных в виде ЦИ, K_{data} с коэффициентом α :

$$K_{stego} = (1 - \alpha) \times K_{cover} + \alpha \times K_{data} \quad (1)$$

где K_{stego} – коэффициенты разложения ДДВП стеганогаммы. Для получения стеганогаммы в пространственной области к полученным коэффициентам K_{stego} применялось обратное ДДВП. В качестве базисных функций ДДВП были использованы вейвлет Хаара и соответствующая ему скейлинг-функция.

3. Метод Агарвала (R. Agarwal)

Данный метод основан на применении сингулярного разложения (СР) к матрицам изображения-контейнера C_{cover} и стегоданных C_{data} [1]:

$$C_{cover} = U_{cover} \times S_{cover} \times V_{cover}^T,$$

$$C_{data} = U_{data} \times S_{data} \times V_{data}^T,$$

где U, V – соответственно, матрицы левых и правых сингулярных векторов, S – диагональная матрица сингулярных чисел. Встраивание стегоданных в ИК проводилось аналогично (1) с использованием матриц сингулярных чисел.

4. Полученные результаты

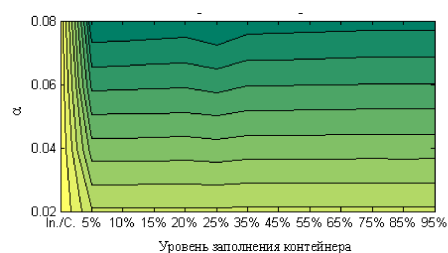
В ходе формирования стеганогамм был использован тестовый пакет из ста изображений с разрешением UHD-4K (3840×2160 пикселей).

В качестве стегоданных, аналогично [2] были выбраны цифровые изображения с различными уровнями детализации: чертеж (567×463 пикселей), карта (800×800 пикселей) и портрет (565×850 пикселей).

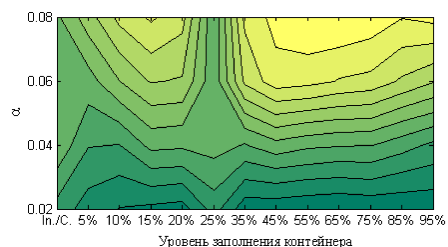
Уровень заполнения контейнера (количество измененных коэффициентов разложения ИК к общему количеству коэффициентов) изменялся в пределах от 5% до 25% (с шагом 5%) и от 35% до 95% (с шагом 10%). Значения параметра α изменялись от $\alpha_{min} = 0.02$ (нижняя граница восстановления стегоданных) до $\alpha_{max} = 0.08$ (появление визуальных искажений ИК) с шагом $\Delta_\alpha = 0.02$.

В результате встраивания стегоданных по приведенным методам, а также их дальнейшего усреднения, были получены контурные графики, описывающие зависимости характеристик вариограмм от степени заполнения контейнера стегоданными (ось абсцисс) и значений весового коэффициента α (ось ординат) изображены на рисунках 3 (метод Дея) и refpic4 (метод Агарвала).

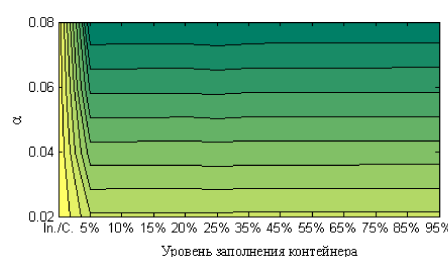
Использование СР при формировании стеганогамм (рис. 4) позволяет существенно уменьшить диапазон изменения рассмотренных характеристик вариограмм (табл. 1) в сравнении со случаем применения ДДВП (рис. 3), что может быть объяснено особенностями СР – встраивания сообщения в компоненты ИК с наибольшей вариацией значений. Тем



(a)



(b)



(c)

Рис. 3. Корреляционные характеристики стеганогамм, сформированных согласно методу Дея:
(a) – вариативность ряда; (b) – интервал корреляции;
(c) – межэлементная вариация.

не менее, различный характер изменений вариативности ряда при изменении степени заполнения контейнера и параметра α для методов Дея (рис. 3(a)) и Агарвала (рис. 4(a)) дает возможность распознавать тип использованных преобразований при формировании стеганогамм.

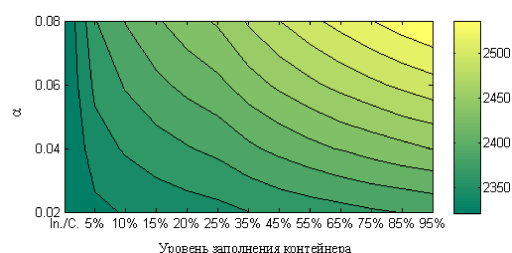
Таблица 1. Диапазоны изменения корреляционных характеристик изображения-контейнера при использовании различных методов формирования стеганогамм

Метод	Nugget	Sill	Range
Дея	88.0..102.0	1960..2280	1780.0..1890.0
Агарв.	103.5..109.2	2330..2530	1834.0..1835.4

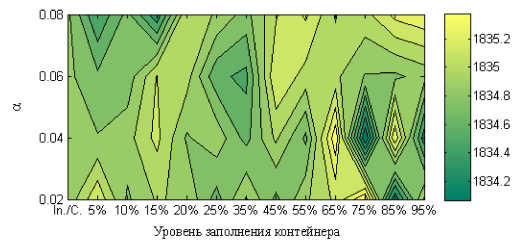
Выводы

В результате исследования эффективности применения вариограммного анализа для выявления стеганогамм с данными, встроенными в ИК с применением ДДВП и СР, было установлено:

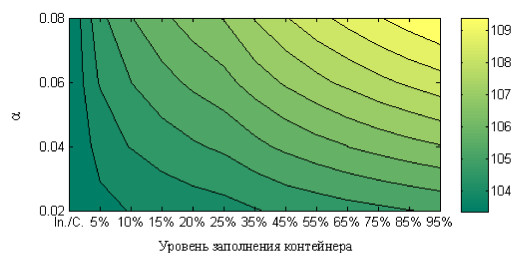
- 1) Анализ изменения основных характеристик позволяет выявить наличие скрытых сообщений в ИК даже при слабом уровне заполнения контейнера стегоданными (менее 10%). При этом, для метода Агарвала эффективность анализа



(a)



(b)



(c)

Рис. 4. Корреляционные характеристики стеганогамм, сформированных согласно методу Агарвала:
(a) – вариативность ряда; (b) – интервал корреляции;
(c) – межэлементная вариация.

понижается для случая уровня заполнения менее 5%;

- 2) На основе результатов вариограммного анализа стеганогамм возможно выявление класса методов, использованных для встраивания стегоданных в ИК.

Перечень использованных источников

1. Agarwal R. — Digital watermarking in the singular vector domain \ Agarwal R. and Santhanam M.S. \ \ International Journal of Image and Graphics. — Vol. 8, 2008 — pp. 351-362.
2. Прогонов Д.О. Вариограммний аналіз стеганогамм, сформованих на основі комплексних методів приховання даних \ Прогонов Д.О., Куш С.М. \ \ Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Серія “Комп’ютерні системи та мережі”. — 2014. — № 806. — с. 226-232
3. Dey N., Roy A.B., Dey S. — Dey N. A novel approach of color image hiding using RGB color planes and DWT / International journal of computer application. — 2011 — Vol. 36, No.5.
4. Geoff Bohling — Introduction to geostatistics and variogram analysis. — C&PE 940. — 17 October 2005