

Новый метод защиты векторных карт с помощью цифровых водяных знаков: использование и исследование информационной емкости изображения-контейнера

Ю.Д. Выборнова¹, В.В. Сергеев^{1,2}

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

²Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

Аннотация. В данной статье приведено исследование метода встраивания ЦВЗ в векторные картографические данные на основе циклического сдвига списка вершин полигональных объектов. Предложена модификация метода, позволяющая обеспечить точную процедуру аутентификации, а также повысить стойкость метода к изменению содержимого карты. Основная идея улучшенного метода заключается в использовании шумоподобного изображения в качестве вторичного контейнера для ЦВЗ, представленного в форме битового вектора. Приведен алгоритм формирования изображения-контейнера на основе последовательности ЦВЗ, а также алгоритм извлечения такой последовательности. Проведено экспериментальное исследование информационной емкости изображения-контейнера и его стойкости к искажениям, моделирующим встраивание в реальные картографические данные: квантованию и добавлению шума.

1. Введение

Основная идея большинства существующих методов защиты векторных данных заключается во встраивании ЦВЗ путем изменения координатной информации векторных объектов.

Однако, все существующие на сегодняшний день методы [1-15] защиты векторных данных (в т.ч. методы защиты авторских прав на векторные данные) имеют ряд недостатков:

1) Несмотря на то, что все преобразования выполняются с заданной точностью и практически не заметны для пользователя, любое искажение карты дает злоумышленнику возможность детектировать наличие ЦВЗ различными методами стегоанализа.

2) Набор объектов при встраивании и извлечении ЦВЗ должен быть строго упорядочен. Отсюда возникает необходимость хранения дополнительных меток идентификаторов объектов или позиций для встраивания.

Метод встраивания [16], предложенный ранее, лишен вышеперечисленных недостатков. Во-первых, метод не предполагает изменение координат вершин: защитная информация вносится в картографические данные путем управляемого циклического сдвига списка вершин каждого полигона. Во-вторых, в качестве цифрового водяного знака рассматривается не битовый

вектор, а растровое изображение, геометрически совмещенное с картой, что позволяет однозначно определить порядок индексации объектов при встраивании и извлечении ЦВЗ.

2. Модификация базового метода

Поскольку во время процедуры извлечения в младшие биты пикселей полутонового изображения-ЦВЗ могут быть внесены погрешности, а само изображение после извлечения подвергается процедуре интерполяции [17], процедура аутентификации (сравнения оригинального и извлеченного ЦВЗ) затрудняется.

Для решения этой проблемы предлагается использовать шумоподобное изображение в качестве вторичного контейнера для ЦВЗ, представленного в форме битовой последовательности [18]. Это не только позволит однозначно аутентифицировать последовательность ЦВЗ после извлечения, но и повысит стойкость метода к изменению содержимого карты (добавлению/удалению вершин, объектов, слоев). Кроме того, пропадает необходимость хранения и передачи оригинального ЦВЗ: достаточно вычислить ЦВЗ и сравнить его с извлеченным (слепое извлечение).

3. Формирование шумоподобного изображения ЦВЗ

Мы предлагаем в качестве ЦВЗ использовать бинарную псевдослучайную последовательность длины l , из которой в дальнейшем формируется двумерный пространственный спектр изображения в виде $2(l+2)$ двумерных дельта-импульсов, расположенных в спектральной области на двух кольцах радиусов r и $r+\Delta r$, как проиллюстрировано на рис.1. В силу вещественности изображения полуплоскости спектра симметричны. Два импульса служат ключом начала последовательности, они размещаются на обоих кольцах при одинаковом угле.

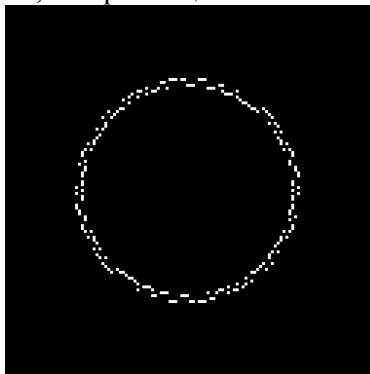


Рисунок 1. Пример последовательности, представленной в виде спектра.

Шумоподобное изображение, несущее ЦВЗ, размером $N_1 \times N_2$ пикселей формируется при помощи обратного ДПФ.

На последнем шаге формирования изображения с ЦВЗ его пиксели могут быть нормированы к стандартному диапазону значений, например, $[0, 255]$. Пример результирующего шумоподобного изображения с ЦВЗ, соответствующим рисунку 1, представлен на рисунке 2.

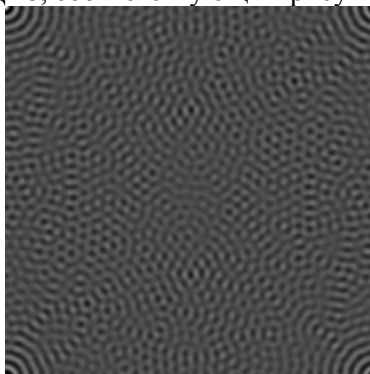


Рисунок 2. Результат встраивания последовательности ЦВЗ.

4. Извлечение ЦВЗ из изображения

Процедура извлечения последовательности ЦВЗ из изображения начинается с вычисления спектра изображения-контейнера, после чего определяются координаты импульсов, имеющих большую амплитуду.

Для однозначного определения значений битов встроенной последовательности ЦВЗ достаточно определить угол и радиус каждого найденного импульса. Возрастающие значения угла определяют порядок чтения, а значения радиуса определяют значения извлекаемых битов последовательности. Для того чтобы восстановить начало последовательности ЦВЗ необходимо найти в ней ключ начала последовательности.

5. Экспериментальные исследования

Для оценки стойкости последовательности ЦВЗ к искажениям контейнера были сгенерированы шумоподобные изображения размером 512 x 512 пикселей на основе последовательностей разной длины. Максимальная длина встраиваемой последовательности $l/2$ для изображений такого размера составляет 625 бит.

Для моделирования процесса встраивания в реальные картографические данные, сгенерированные изображения подвергались квантованию и равномерному зашумлению. После этого выполнялась процедура интерполяции изображения методом ближайшего соседа на основе триангулированной нерегулярной сети [18] и осуществлялась попытка извлечения битовой последовательности. Результаты эксперимента приведены в таблице 1. Максимально допустимая доля искажений (отношение количества зашумленных пикселей к общему числу пикселей изображения) и максимально допустимое число уровней квантования приведены для случая, когда для 100 разных изображений, сгенерированных для последовательностей заданной длины, все 100 последовательностей были извлечены корректно.

Заметим, что в силу дискретности спектра координаты единичных импульсов округляются, что может приводить к погрешностям. Минимальные значения r , $(r + \Delta r)$, при которых возникающие погрешности не влияют на извлечение ЦВЗ, подобраны экспериментально и приведены также в таблице 1.

Согласно полученным результатам, при длине встраиваемой последовательности до 100 бит, возможность ее извлечения сохраняется даже при внесении 96% искажений. Чем больше бит необходимо встроить, тем меньше стойкость предложенного метода к искажениям.

Несмотря на то, что в рамках проведенного эксперимента полученные изображения ЦВЗ реально никуда не встраивались, данный эксперимент демонстрирует следующие важные зависимости:

- а) количество уровней квантования соответствует количеству вершин полигональных объектов карты: идеальный случай, когда все полигоны имеют одинаковое количество вершин;
- б) максимально допустимый процент искажений $distortion_{max}$ соответствует минимальному числу n_{min} полигонов на карте, необходимому для корректной работы метода, в том смысле что $n_{min} = (1 - distortion_{max})N_1 \times N_2$.

6. Заключение

В данной статье приведено исследование метода встраивания ЦВЗ в векторные картографические данные на основе циклического сдвига списка вершин полигональных объектов.

Предложена модификация метода, позволяющая обеспечить точную процедуру аутентификации, а также повысить стойкость метода к изменению содержимого карты. Основная идея улучшенного метода заключается в использовании шумоподобного изображения в качестве вторичного контейнера для ЦВЗ, представленного в форме битового вектора. Приведен алгоритм формирования изображения-контейнера на основе последовательности ЦВЗ, а также алгоритм извлечения такой последовательности.

Проведено экспериментальное исследование информационной емкости изображения-контейнера и его стойкости к искажениям, моделирующим встраивание в реальные картографические данные: квантованию и добавлению шума.

Таблица 1. Результаты экспериментов.

Длина $l/2$	$\min r_0$	$\min r_1$	Количество уровней	Доля искажений
100	36	40	2^8	0.96
			2^5	0.95
			2^2	0.94
			2^1	0.93
200	78	82	2^8	0.88
			2^6	0.87
			2^4	0.86
			2^3	0.85
300	110	114	2^2	—
			2^8	0.79
			2^5	0.78
			2^4	0.77
400	158	162	2^3	0.70
			2^2	—
			2^8	0.65
			2^4	0.63
500	200	204	2^3	0.43
			2^2	—
			2^8	0.44
			2^7	0.42
600	248	252	2^6	0.41
			2^5	0.40
			2^4	0.36
			2^3	0.13
Мах: 625	250	254	2^2	—
			2^8	0.27
			2^7	0.25
			2^6	0.24
			2^4	0.23
			2^3	—
			2^8	0.26
			2^7	0.24
			2^5	0.23
			2^4	0.22
			2^3	—

7. Литература

- [1] Abubahia, A. A clustering approach for protecting GIS vector data / A. Abubahia, M. Cocea // Advanced Information Systems Engineering: 27th International Conference. – 2015. – Vol. 1. – P. 133-147.
- [2] Abubahia, A. Exploiting vector map properties for GIS data copyright protection / A. Abubahia, M. Cocea // Proceedings of the 27th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence. – 2015. – Vol. 1. – P. 575-582.

- [3] Lee, S.H. Vector watermarking scheme for GIS vector map management / S.H. Lee, K.R. Kwon // *Multimedia Tools and Applications*. – 2013. – Vol. 63(3). – P. 757-790.
- [4] Peng, Z. Blind watermarking scheme for polylines in vector geo-spatial data / Z.g Peng, M. Yue, X. Wu, Y. Peng // *Multimedia Tools And Applications*. – 2015. – Vol. 74. – P. 11721-11739.
- [5] Wang, Y. A multiple watermarking algorithm for vector geographic data based on coordinate mapping and domain subdivision / Y. Wang, C. Yang, C. Zhu // *Multimedia Tools And Applications*. – 2017. – P. 1-19.
- [6] Yan, H. A normalization-based watermarking scheme for 2D vector map data / H. Yan, L. Zhang, W. Yang // *Earth Science Informatics*. – 2017. – Vol. 10(4). – P. 471-481
- [7] Zope-Chaudhari, S. Copyright protection of vector data using vector watermark / S. Zope-Chaudhari, P. Venkatachalam, K. Buddhiraj // *Geoscience and Remote Sensing Symposium*. – 2017. – Vol. 1. – P. 6110-6113.
- [8] Ren N. Selective authentication algorithm based on semi-fragile watermarking for vector geographical data / N. Ren, Q. Wang, C. Zhu // *22nd International Conference on Geoinformatics*. – 2014. – Vol. 1. – P. 1-6.
- [9] Da, Q. A Novel Hybrid Information Security Scheme for 2D Vector Map / Q. Da, J. Sun, L. Zhang, L. Kou, W. Wang, Q. Han, R. Zhou // *Mobile Networks and Applications*. – 2018. – Vol.1. – P. 1-9.
- [10] Wang, N. RST Invariant Fragile Watermarking for 2D Vector Map Authentication / N. Wang, J. Bian, H. Zhang // *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*. – 2015. – Vol. 10(4). – P. 155-172.
- [11] Peng, Y. A Zero-Watermarking Scheme for Vector Map Based on Feature Vertex Distance Ratio / Y. Peng, M. Yue // *Journal of Electrical and Computer Engineering*. – 2015. – Vol. 2015. – P. 1-6.
- [12] Peng, Y. Multipurpose watermarking for vector map protection and authentication / Y. Peng, H. Lan, M. Yue, Y. Xue // *Multimedia Tools and Applications*. – 2017. – Vol. 77(1). – P. 1-21.
- [13] Cao, L. High-capacity reversible watermarking scheme of 2D-vector data / L. Cao, C. Men, R. Ji // *Signal, Image and Video Processing*. – 2015. – Vol. 9. – P. 1387-1394.
- [14] Peng, F. A Reversible Watermarking for 2D Vector Map Based on Triple Differences Expansion and Reversible Contrast Mapping / F. Peng, Z.J. Yan, M. Long // *International Conference on Security, Privacy and Anonymity in Computation, Communication and Storage*. – 2017. – Vol.1. – P. 147-158.
- [15] Wang, N. RST Invariant Reversible Watermarking for 2D Vector Map / N. Wang, X. Zhao, C. Xie // *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*. – 2016. – Vol. 11(2). – P. 265-276.
- [16] Выборнова, Ю.Д. Новый метод встраивания цифровых водяных знаков в векторные картографические данные / Ю.Д. Выборнова, В.В. Сергеев // *Компьютерная оптика*. – 2017. – Т. 41, № 6. – С. 913-919. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-6-913-919.
- [17] Выборнова, Ю.Д. Исследование методов пространственной интерполяции в задаче восстановления частично определенных изображений / Ю.Д. Выборнова // *Сборник трудов IV международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2018)*. – Самара: Новая техника, – 2018. – С. 683-690.
- [18] Глумов, Н.И. Алгоритм поблочного встраивания стойких ЦВЗ в крупноформатные изображения / Н.И. Глумов, В.А. Митекин // *Компьютерная оптика*. – 2011. – Т. 35, № 3. – С. 368-372.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-07-00474 А и № 19-07-00138 А.

A new watermarking method for vector map data: a study on information capacity of the carrier image

Y.D. Vybornova¹, V.V. Sergeyev^{1,2}

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

²Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

Abstract. The paper presents a study of the watermarking method for vector map data based on the cyclic shift of the vertex list of polygonal objects. We propose a method modification to provide an accurate authentication procedure, as well as to enhance the method robustness against the map contents alteration. The main idea of the improved method is to use a noise-like image as a secondary container for a watermark represented in the form of a bit vector. An algorithm for the construction of an image container on the basis of the watermark sequence, as well as an algorithm for extraction such a sequence, are given. An experimental study on the information capacity of the carrier image and its robustness against distortions simulating the embedding into real cartographic data, such as quantization and noise addition, has been carried out.