

# Исследование стойкости компактных дескрипторов векторной карты к трансформациям её содержимого

А.С. Асанов  
Самарский национальный  
исследовательский университет им.  
акад. С.П. Королева  
Самара, Россия  
alanlox1882@gmail.com

Ю.Д. Выборнова  
Самарский национальный  
исследовательский университет им.  
акад. С.П. Королева  
Самара, Россия  
vybornovamail@gmail.com

В.А. Федосеев  
Самарский национальный  
исследовательский университет им.  
акад. С.П. Королева  
Самара, Россия  
vicanfed@gmail.com

**Аннотация**—Работа посвящена исследованию стойкости компактных дескрипторов векторной карты к трансформациям её содержимого. Данное исследование имеет целью выявление подходящих дескрипторов в сценарии zero watermarking при защите содержимого векторной карты от подделки или несанкционированного использования.

**Ключевые слова**— нулевое встраивание, защита векторной карты, ГИС, ЦВЗ.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одним из активно используемых подходов к защите векторных данных является так называемое «нулевое встраивание цифрового водяного знака (ЦВЗ)» (zero watermarking) [1, 2, 3]. Данная процедура представляет собой аналог процедуры хеширования: для защищаемой карты вычисляется некоторая идентифицирующая информация (дескриптор), которая впоследствии хранится отдельно. На этапе «извлечения» дескриптор вычисляется заново, после чего сформированный ЦВЗ сравнивается с исходным. Например, в [4] вычисляется отношение расстояний между вершинами (FVDR), после чего для большей секретности объединяется с битами ЦВЗ. В [5] ЦВЗ строится на основе триангуляции и вычисления локальных характеристик внутри каждого треугольника.

В зависимости от решаемой задачи ЦВЗ должен быть либо стойким ко всем трансформациям векторной карты (если целью является защита авторских прав), либо он должен разрушаться при определенных преобразованиях и таким образом сигнализировать о подделке данных. Первостепенной задачей настоящего исследования было определить, какие характеристики векторной модели полезно использовать при формировании ЦВЗ в зависимости от видов подделки карт, которые необходимо с помощью этого ЦВЗ детектировать. Например, ЦВЗ, построенный на основе отношения расстояний между характерными вершинами полигонов, позволит детектировать только добавление/удаление нехарактерных вершин объектов, а ЦВЗ, построенный на основе среднего расстояния от центра ограничивающего прямоугольника до каждой вершины, позволит детектировать ещё и добавление/удаление характерных вершин.

## 2. АЛГОРИТМ РАМЕРА-ДУГЛАСА-ПЕКЕРА И ЕГО МОДИФИКАЦИЯ

В рассматриваемых в рамках настоящей работы дескрипторах в качестве составной части используется алгоритм Рамера-Дугласа-Пекера [6, 7], предназначенный для сокращения избыточности описания векторного полигонального объекта путём уменьшения числа точек. Использование этого алгоритма в дескрипторах теоретически должно обеспечивать стойкость к наибольшему изменению объектов карты. Ниже рассмотрим более детально данный алгоритм, а также его модификацию, разработанную нами для устранения недостатков, проявляющихся при использовании данного алгоритма в составе дескрипторов.

Входом алгоритма Рамера-Дугласа-Пекера служат наиболее удалённые вершины в объекте (точки  $A$  и  $B$  на рис. 1). Если таких вершин несколько, то выбираются те, которые были найдены первыми. Далее алгоритм находит вершину, наиболее удалённую от отрезка, соединяющего вершины, выбранные на первом шаге (точка  $C$  на рис. 1). Далее рассчитывается отношение расстояния от точки до этого отрезка к длине самого отрезка (отношение  $CD$  к  $AB$  на рис. 1). Если полученное значение меньше некоторого порога:  $CD/AB < \alpha$ , то все ранее не отмеченные вершины считаются *нехарактерными* и могут быть выброшены из конечного набора вершин оптимизированного объекта. Если же  $CD/AB \geq \alpha$ , то алгоритм рекурсивно вызывает себя для двух новых отрезков –  $CA$  и  $CB$ . Результатом работы алгоритма будет объект, состоящий только из *характерных* вершин.

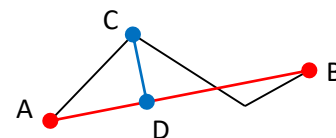


Рис. 1. Иллюстрация алгоритма Рамера-Дугласа-Пекера

Недостатком данного алгоритма применительно к рассматриваемой задаче построения информативных дескрипторов является сложность подбора значения  $\alpha$  таким образом, чтобы в результате работы алгоритма оставалось достаточное количество характерных точек для сохранения формы объекта. По этой причине в алгоритм внесено косметическое изменение: при первой итерации точка  $C$  признаётся характерной всегда, а на дальнейших итерациях вместо постоянного для всех объектов порога  $\alpha$  используется порог  $\alpha \cdot CD/AB$ , где  $AB$

и  $CD$  в данном случае – отрезки очередного объекта, чьё отношение рассчитывается на первой итерации алгоритма. Подобная модификация позволяет повысить устойчивость множества характерных вершин к незначительным модификациям карты, что подтвердили результаты проведённых экспериментов.

### 3. ОПИСАНИЕ АНАЛИЗИРУЕМЫХ КОМПАКТНЫХ ДЕСКРИПТОРОВ

Чтобы получить возможность локализации изменений в цифровой карте, исходная карта делится на равные по размеру квадратные участки. На каждом из них вычисляется компактный дескриптор участка карты, учитывающий характеристики всех полигональных объектов, находящихся на данном участке. Перед расчётом дескриптора каждый объект подвергается оптимизации алгоритмом Рамера-Дугласа-Пекера.

В рамках работы исследовались следующие дескрипторы:

- 1) среднее отношение расстояний между характерными вершинами (FVDR) [4];
- 2) среднее отношений площадей ограничивающих прямоугольников;
- 3) среднее отношений расстояний между центрами масс объектов;
- 4) средняя доля характерных вершин внутри группы;
- 5) среднее отношение расстояний от центра до правого верхнего угла ограничивающего прямоугольника;
- 6) среднее отношение расстояний от центра ограничивающего прямоугольника до каждой вершины.

### 4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как отмечалось выше, ключевой задачей исследования являлся анализ стойкости выбранных дескрипторов к различным искажениям векторной карты. Для её решения был выполнен ряд вычислительных экспериментов. В ходе них карта разбивалась на равные фрагменты, после чего для каждого фрагмента вычислялись вышеуказанные дескрипторы. Далее выполнялась процедура искажения карты. При этом изменялись как тип искажения, так и его уровень, определяемый скалярным параметром. Далее по искажённой карте также рассчитывались дескрипторы, и оценивалось относительное изменение дескриптора. Дескриптор признавался устойчивым к определённому искажению, если относительная ошибка оказывалась ниже 1% при всех значениях параметра. Ниже перечислены применявшиеся искажения и в скобках их параметры:

- 1) Поворот карты (угол от 0 до 360°).
- 2) Добавление вершин без изменения формы объекта (процент изменения числа точек от 10 до 100%).
- 3) Добавление нехарактерных вершин, меняющих форму объекта (процент изменения числа точек от 10 до 100%).
- 4) Удаление произвольных вершин (доля удалённых вершин от 5 до 40%).

- 5) Удаление вершин, не являющихся характерными (доля удалённых вершин от 5 до 40%).
- 6) Изменение порядка вершин – циклический сдвиг (величина сдвига).
- 7) Добавление копий существующих объектов карты (процент изменения числа объектов от 10 до 100%).
- 8) Добавление новых четырёхточечных объектов карты (процент изменения числа объектов от 10 до 100%).
- 9) Удаление произвольных объектов карты (доля удалённых объектов от 10 до 90%).

### 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Объём тезисов не позволяет подробно описать полученные результаты, поэтому отметим лишь общие выводы.

Наиболее устойчивым среди исследуемых дескрипторов оказался дескриптор 2, что означает, что он является самым эффективным для защиты авторских прав. Остальные дескрипторы являются стойкими лишь к части искажений, поэтому они могут быть использованы для детектирования искажений тех видов, к которым они неустойчивы. Одним из способов обнаружения конкретного вида искажения является комбинирование нескольких видов дескрипторов, различающихся всего в одном искажении. Например, можно использовать дескрипторы 1 и 4 для обнаружения удаления небольшого количества объектов, поскольку это единственное искажение, по которому данные дескрипторы дают различный результат.

Также следует отметить, что при добавлении вершин, не изменяющих форму объекта, и удалении нехарактерных вершин, все дескрипторы оказались устойчивыми только благодаря использованию алгоритма Рамера-Дугласа-Пекера. В ином случае устойчивым к этим видам искажений являлся бы только дескриптор 2.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 19-29-09045)

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ren, N. Copyright Protection Based on Zero Watermarking and Blockchain for Vector Maps / N. Ren, Y. Zhao, C. Zhu, Q. Zhou, D. Xu // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2021. – Vol. 10(5). – P. 294. DOI: 10.3390/ijgi10050294.
- [2] Zhou, Q. Zero Watermarking Algorithm for Vector Geographic Data Based on the Number of Neighboring Features / Q. Zhou, C. Zhu, N. Ren, W. Chen, W. Gong // Symmetry. – 2021. – Vol. 13(2). – P. 208. DOI: 10.3390/sym13020208.
- [3] Xi, X. Dual Zero-Watermarking Scheme for Two-Dimensional Vector Map Based on Delaunay Triangle Mesh and Singular Value Decomposition / X. Xi, X. Zhang, W. Liang, Q. Xin, P. Zhang // Applied Sciences. – 2019. – Vol. 9(4). – P. 642. DOI: 10.3390/app9040642.
- [4] 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.
- [5] Li, A. Study on copyright authentication of GIS vector data based on Zero-watermarking / A. Li, B.-X. Lin, Y.A. Chen // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2008. – Vol. 37(B4). – P. 1783-1786.

- [6] Ramer, U. An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves / U. Ramer // *Computer Graphics and Image Processing*. – 1972. – Vol. 1(3). – P. 244-256. DOI: 10.1016/S0146-664X(72)80017-0.
- [7] Douglas, D.H. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature / D.H. Douglas, T.K. Peucker // *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*. – 1973. – Vol. 10(2). – P. 112-122. DOI: 10.3138/FM57-6770-U75U-7727.