

# Исследование методов встраивания цифровых водяных знаков в трехмерные векторные данные

М.М. Бочкарев<sup>1</sup>, Ю.Д. Выборнова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

## Аннотация

В статье исследуются различные подходы к встраиванию цифровых водяных знаков (ЦВЗ) в 3D-модели, а именно приведено сравнение результатов встраивания в области вейвлет-преобразования и в пространственной области. Показано, что встраивание в вейвлет-коэффициенты значительно ухудшает качество модели и не является слепым (для извлечения необходим оригинал объекта). В качестве пространственного подхода рассмотрен метод встраивания ЦВЗ на основе модуляции квантования расстояния между вершинами. При таком встраивании ЦВЗ искажения в объекте менее заметны. Для извлечения информации наличие оригинала не является обязательным. Недостатком метода является возможное возникновение ошибок при извлечении битов ЦВЗ.

## Ключевые слова

Защита 3D, цифровой водяной знак, защита интеллектуальной собственности

## 1. Введение

На сегодняшний день область применения 3D-моделей для графического представления объектов практически не ограничена. Например, 3D-модели используются в медицине, автомобильной промышленности, аэрокосмической отрасли, и это лишь некоторые примеры их использования. В процессе 3D-моделирования могут быть созданы оригинальные и новые объекты, которые необходимо охранять в качестве объекта авторского права. Кроме того, злоумышленное изменение таких объектов может повлечь негативные последствия для их владельцев. Для решения задач защиты авторских прав и аутентификации графических объектов применяются методы встраивания цифровых водяных знаков (ЦВЗ).

Особенности представления 3D данных предопределяют различия методов их защиты: встраивание ЦВЗ может осуществляться как в облако точек [1], так и в вершины нерегулярной сети треугольников или полигонов [2]. Защитная информация внедряется либо в пространственную область путем смещения координат вершин объектов в пределах заданной точности, либо в область преобразования за счет изменения коэффициентов дискретного спектрального разложения упорядоченного набора координат.

## 2. Исследуемые методы встраивания ЦВЗ

В данной статье исследуются два метода встраивания ЦВЗ в 3D-модели. Первый метод реализуется в области преобразования: ЦВЗ встраивается в наименее значимые биты низкочастотных коэффициентов дискретного вейвлет-преобразования [3]. Второй метод реализуется в пространственной области и основан на модуляции квантования расстояния между вершинами [4].

Для получения упорядоченного набора треугольников в обоих методах применяется спиральный метод сканирования [5]: сначала произвольно выбирается треугольник, внутри которого выбираются стартовая точка и соседняя с ней, затем для пары точек ищется третья, которая не была задействована ранее. Таким образом формируются группы треугольников (group of triangles, GOT), в которые будут встраиваться ЦВЗ.

Стоит отметить, что метод встраивания в области преобразования не является слепым, поскольку наименее значимые биты ДВП-коэффициентов могут измениться при переходе в пространственную область. Для извлечения информации необходимо наличие исходной модели: наличие разницы между треугольниками в соответствующих ГОТ свидетельствует о встраивании единицы, отсутствие – нуля.

### 3. Экспериментальные исследования

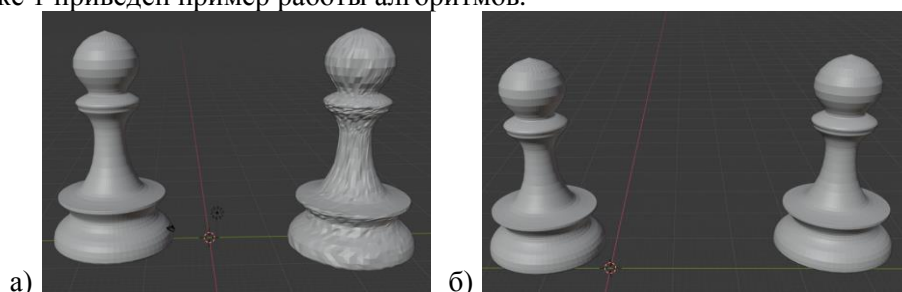
Проведено сравнение предложенных методов по критерию незаметности ЦВЗ после встраивания.

**Таблица 1**

Среднеквадратическая ошибка встраивания.

Область встраивания	Вейвлет-преобразование	Пространственная
MSE	1,54e-8	9,8e-9

На Рисунке 1 приведен пример работы алгоритмов.



**Рисунок 1:** 3D модель до (слева) и после (справа) встраивания ЦВЗ а) Встраивание в области преобразования. б) Встраивание в пространственной области

Очевидно, что ЦВЗ, встроенный в пространственную область, является более незаметным. Однако, при таком способе встраивания возможно возникновение ошибок при извлечении ЦВЗ.

### 4. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-29-09045, № 19-07-00474.

### 5. Литература

- [1] Liu, J. A Blind 3D Point Cloud Watermarking Algorithm Based on Azimuth Angle Modulation / J. Liu, Y. Yang, D. Ma // 11th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics, CISP-BMEI. – 2018. – P. 1-7.
- [2] Medimegh, N. 3D mesh watermarking using salient points / N. Medimegh, S. Belaid, M. Atri, N. Werghi // Multimedia Tools and Applications. – 2018. – Vol. 77. – P. 32287-32309.
- [3] Mallat, S.G. A Theory of Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation / S.G. Mallat // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1989. – Vol. 11(7). – P. 674-693.
- [4] Peng, Z. Blind watermarking scheme for polylines in vector geo-spatial data / Z. Peng, M. Yue, X. Wu, Y. Peng // Multimedia Tools and Applications. – 2015. – Vol. 74. – P. 11721-11739.
- [5] Ikbel S. Crypto-watermarking system for safe transmission of 3D multiresolution meshes / S. Ikbel [Electronic resource]. – Access mode: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-018-6721-y> (02.01.2021).