

# ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОШУКУ ОПОРНИХ ТОЧОК ДЛЯ ВБУДОВУВАННЯ ЦВЗ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО СТІЙКОСТІ ВІД ГЕОМЕТРИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ПЕРЕТВОРЕННЯ

Вінницький національний технічний університет;

## *Анотація*

*У доповіді здійснено дослідження методів пошуку опорних точок для вбудовування цифрових водяних знаків, що дозволить підвищити стійкість невидимого водяного знаку від геометричних операцій перетворення. Дослідження таких методів не тільки розширює розуміння технологій водяних знаків у тривимірних моделях, але й відкриває перспективи для подальшого вдосконалення алгоритмів вбудовування ЦВЗ.*

**Ключові слова:** цифровий водяний знак, опорна точка, стійкість, ребро, геометричні операції перетворення.

## *Abstract*

*The paper investigates methods for finding landmarks for embedding digital watermarks, which will increase the invisible watermark's resistance to geometric transformation operations. The study of such methods not only expands the understanding of watermarking technologies in three-dimensional models, but also opens up prospects for further improvement of watermark embedding algorithms.*

**Keywords:** digital watermark, reference point, stability, edge, geometric transformation operations.

## **Вступ**

Тривимірні моделі набули великої популярності завдяки активному розвитку комп'ютерної графіки, кінематографії, медицини, військової справи тощо. Тривимірні моделі та тривимірна графіка використовуються як в наукових дослідженнях, так і для наочної демонстрації презентацій. Їхня популярність в різних галузях зростає, відображаючи технологічний розвиток та постійний попит на високоякісні візуалізації для ефективного вирішення завдань у різних сферах суспільного життя.

Використання цифрових водяних знаків (ЦВЗ) у тривимірних моделях має ключове значення для захисту авторських прав, відслідковування джерела та попередження незаконних копіювань чи підробок. Це також сприяє контролю за ліцензійними угодами та визначенню прав користування, роблячи ЦВЗ необхідним елементом для комерційних та авторських використань тривимірних моделей. Існуючі алгоритми вбудовування ЦВЗ поділяються на різні категорії, однак серед них варто відзначити невидимі водяні знаки, які вирізняються тим, що не впливають на візуальну сприйнятливості оригінальної тривимірної моделі.

Метою даної роботи є дослідження методів пошуку опорних точок для вбудовування ЦВЗ, що дозволить підвищити стійкість невидимого водяного знаку від геометричних операцій перетворення.

## **Результати дослідження**

Розглянемо алгоритм вбудовування ЦВЗ, розроблений групою науковців на чолі з Аі Цінсонгом [1]. Він використовує алгоритм пошуку опорних точок для вбудовування водяного знаку, що базується на знаходженні оцінки різкої зміни площі. Даний алгоритм має ряд недоліків, а саме опорні точки, що вираховуються для заданої сітчастої моделі не завжди є надійними для вбудовування інформації, а також їх пошук та впорядкування може бути ускладнене геометричними атаками на модель.

Для вдосконалення даного алгоритму пропонується змінити перший етап алгоритму пошуку опорних точок. З цією метою дослідимо декілька алгоритмів та оберемо найкращий, з точки зору підвищення стійкості водяного знаку в тривимірних моделях проти геометричних атак.

Перший досліджуваний метод має назву «Різниця другого порядку» (SOD). Це найпростіший метод класифікації ребра, що присвоює вагу кожному ребру сітки пропорційно до двогранного кута, утвореного нормальними прилеглих трикутників. Ця концепція базується на диференційному операторі другого порядку. Оператор, описаний у рівнянні (1), є локально обмеженим та може бути ефективно обчислений [2].

$$w(e) = \cos \left( \frac{n_i}{\|n_i\|} \cdot \frac{n_j}{\|n_j\|} \right) \quad (1)$$

де  $n_i$  та  $n_j$  – це нормалі двох трикутників, котрі мають спільне ребро  $e$ ,  
 $w(e)$  – вага ребра.

Для кращого розуміння роботи SOD, модель трикутників зображена на рисунку 1.

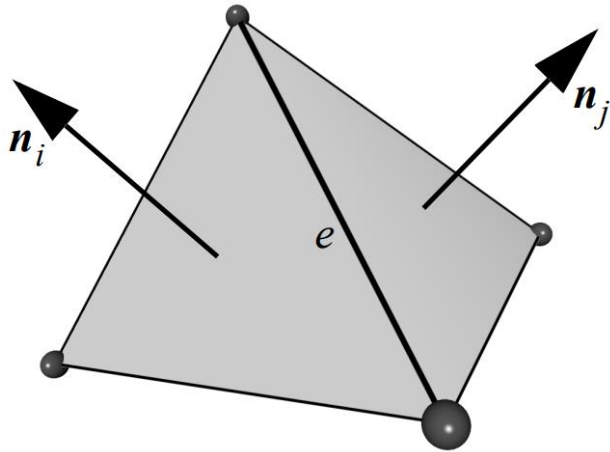


Рисунок 1 – Підтримка оператора класифікації SOD [2]

Наступний метод – «Розширена різниця другого порядку» (ESOD). Даний метод схожий на попередній. ESOD розширює SOD, використовуючи більшу опору для оцінювання кожного ребра [3]. Замість того, щоб визначати нормалі двох сусідніх трикутників, він визначає їх як середні нормалі, обчислені з трикутників на одному кільці вершин та кільці навпроти. Розширену підтримку ESOD проілюстровано на рисунку 2.

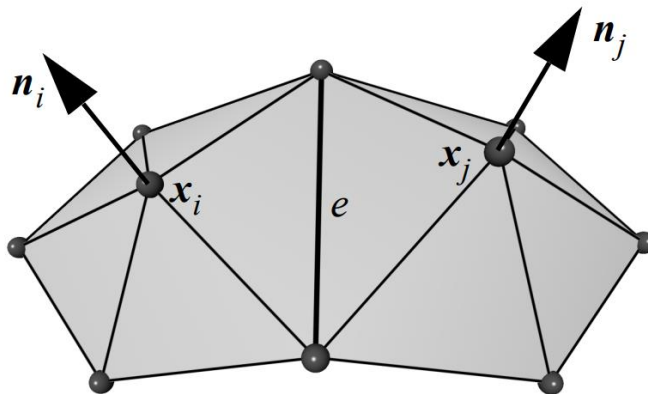


Рисунок 2 – Підтримка оператора класифікації ESOD [3]

Наступним аналізованим методом є «Найкращий поліном» (BFP). Навколо ребра будується окіл з радіусом  $\alpha$ . Далі визначається площина параметрів, що перетинає середину ребра та є перпендикулярною до нього, що зображено на рисунку 3(а). Унікальна площина визначається вимогою, щоб середина точки лежала на цій площині. Точки обчислюються з перетину площини з набором сусідніх ребер (рис. 3(б)). Надалі підбирається поліном як показано на рисунку 3(в) [4].

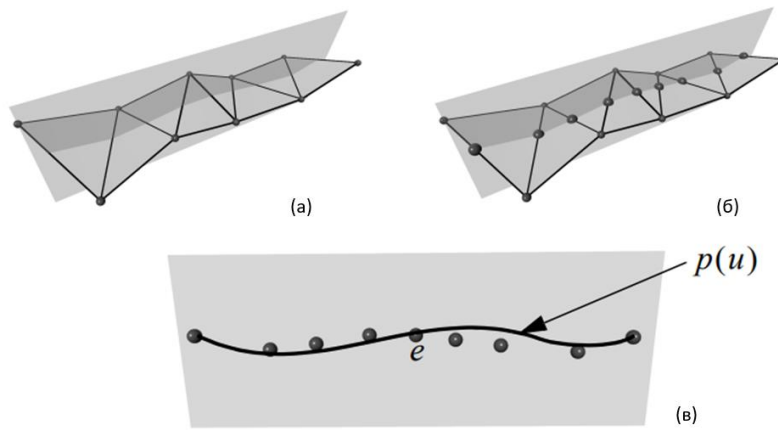


Рисунок 3 – Методи визначення реберної вершини VFP: (а) – площина параметрів, (б) – перетин між площиною параметрів і сіткою, (в) – поліном найкращого ступеня, підігнаний у просторі параметрів [4]

Кривизна полінома оцінюється в певній точці параметра за допомогою рівняння (2):

$$w(e) = p''(e) \quad (2)$$

де  $p''(e)$  є другою похідною від полінома в точці  $e$ .

Розглянемо ще такий метод як «Кут між найкращими поліномами» (ABVFP). Він є модифікацією оператора VFP і також ґрунтується на поліномах найкращого ступеня. Подібно до попереднього методу, поліноми вписуються у простір параметрів для кожного ребра (рис. 4). Метод застосовує два поліноми: один для вершин, що перебувають по одному боці простору параметрів, та інший для вершин, розташованих по іншу сторону, як показано на рисунку 4 (в) [5].

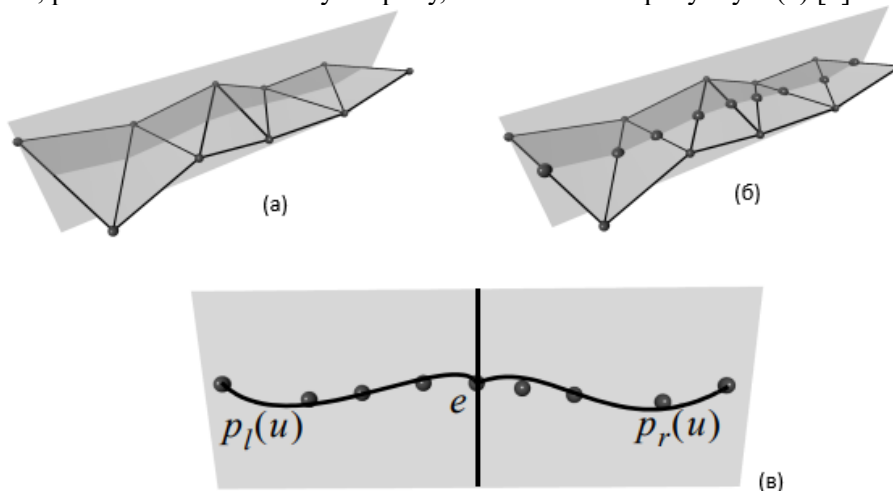


Рисунок 4 – Методи визначення реберної вершини ABVFP: (а) – площина параметрів, (б) – перетин між площиною параметрів і сіткою, (в) – два поліноми і кут між їхніми дотичними в точці  $e$  [5]

Вага, що присвоюється ребру вибирається пропорційною куту між дотичними до двох кривих оціненими в позиції параметра. Вага обчислюється рівнянням (3):

$$w(e) = \cos \left( \frac{(1, p_l'(e))}{\|(1, p_l'(e))\|} \cdot \frac{(1, p_r'(e))}{\|(1, p_r'(e))\|} \right)^{-1} \quad (3)$$

де  $p_l'(e)$  – похідна лівого поліному від ребра  $e_i$ ,

$p_r'(e)$  – похідна правого поліному від ребра  $e_i$ ,

Проаналізуємо особливості кожного представленого методу. Метод SOD найкраще підходить для грубих, попередньо оптимізованих сіток. Однак він погано працює на дуже деталізованих або

зашумлених сітках, оскільки всі обчислення виконуються в межах невеликої області підтримки. Це унеможливує його використання для вбудовування водяних знаків у деталізовані моделі з великою кількістю полігонів.

Метод ESOD збільшує опору для пошуку реберних вершин, що приводить до очікуваних наслідків: вплив шуму на процес класифікації послаблюється. Проте, оскільки підтримка оператора більша і не може бути адаптована до вхідної сітки, ESOD погано працює на дуже грубих сітках.

Метод BFP має перевагу над іншими в тому, що підтримку оператора можна вибирати вільно та її можна адаптувати локально для кожного краю. Додатковий ступінь свободи надається ступенем підгонки полінома, який може бути адаптований до розміру підтримки оператора. Перевага такого підходу полягає в тому, що він є дуже гнучким, оскільки підтримка може бути адаптована як глобально, так і локально. Таким чином, на нього менше впливає шум, який відфільтровується під час процесу найкращого припасування, також на нього менше впливають різні геометричні атаки. Крім того, він може бути використаний для будь-якого типу сітки, за умови вибору відповідного набору параметрів. Метод ABBFP лише поглиблює та вдосконалює переваги BFP.

На основі отриманих результатів проведеного аналізу, пропонується використати для пошуку опорних точок метод ABBFP для розпізнавання реберних вершин. Дані вершини є більш стабільними для вбудовування водяного знаку, а їх пошук та визначення є надійнішим.

## Висновки

У даній доповіді було досліджено різні алгоритми пошуку реберних вершин. Розглянуто їх роботу, недоліки та переваги. В результаті аналізу методів пошуку опорних точок для вбудовування ЦВЗ, що потенційно можуть підвищити стійкість невидимого водяного знаку від геометричних операцій перетворення, найбільш підходящим виявився метод ABBFP. Даний метод застосовує два поліноми: один для вершин, що перебувають по одному боці простору параметрів, та інший для вершин, розташованих по іншу сторону. В результаті дослідження визначено, що вказаний метод є перспективним у забезпеченні високої стійкості невидимих водяних знаків під час геометричних операцій перетворення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Цінсонг А., Куане Л., Зуде Ч. Нова схема цифрових водяних знаків для тривимірних трикутних сітчастих моделей. Обробка сигналів. 2009. Т. 89, № 11. С. 2159–2170. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016516840900190X> (дата звернення: 17.11.2023).
2. Гуськов І., Свельденс В., Шрадер П. Обробка сигналів з множинною роздільною здатністю для сіток. SIGGRAPH '99. 1999. С. 325–334. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/311535.311577> (дата звернення: 17.11.2023).
3. Хубелі А., Мейер К., Гросс М. Виявлення країв сітки. CS Technical Report. 2000. С. 7–11. URL: [https://cgl.ethz.ch/Downloads/Publications/Papers/2000/p\\_Hub00b.pdf](https://cgl.ethz.ch/Downloads/Publications/Papers/2000/p_Hub00b.pdf) (дата звернення: 17.11.2023).
4. Верон Ф. Модифікація семантично збагачених скінченно-елементних моделей : Doctoral dissertation. Генуя, 2011. 289 с. URL: [https://louruding.github.io/homepage/doc/LOU\\_PhD\\_2011.pdf](https://louruding.github.io/homepage/doc/LOU_PhD_2011.pdf) (дата звернення: 17.11.2023).
5. Карлічек Л. Розпізнавання характерних ознак триангуляційних моделей : дипломна робота. Пльзень, 2014. 81 с. URL: [https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/12534/1/Diplomova\\_prace.pdf](https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/12534/1/Diplomova_prace.pdf) (дата звернення: 17.11.2023).

**Салієва Ольга Володимирівна** – доктор філософії (PhD) за спеціальністю 125 «Кібербезпека», доцент кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [salieval8257@gmail.com](mailto:salieval8257@gmail.com)

Мовчанюк Мар'яна Тимофіївна – студентка групи 2KITC-22м, факультет менеджменту інформаційної безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [maryana.movchanyuk@gmail.com](mailto:maryana.movchanyuk@gmail.com)

Saliieva Olha V. – Doctor of Philosophy (PhD) in specialty 125 «Cyber Security», Associate Professor of the Department of Information Systems Management and Security, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [salieval8257@gmail.com](mailto:salieval8257@gmail.com)

Movchanyuk Maryana T. – student of group 2KITS-22m, Faculty of Information Security Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [maryana.movchanyuk@gmail.com](mailto:maryana.movchanyuk@gmail.com)