

ДОДАТОК

Слайди презентації:

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ**
**Київський національний
університет Будівництва і
архітектури**

**«Підсистема оптимізації автоматизованого
процесу 3D моделювання»**

Факультет автоматизації і інформаційних технологій

Кафедра інформаційних технологій проектування та прикладної
математики

Виконав: студент гр. ІСТм -24 Артеменко А.О.

Керівник: Завідувач кафедри ІТППМ Бородавка Є.В.

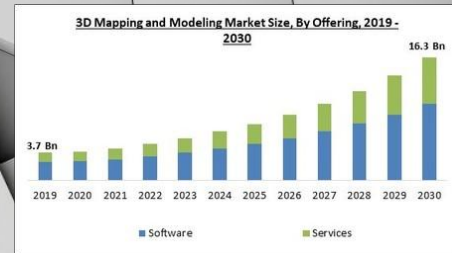
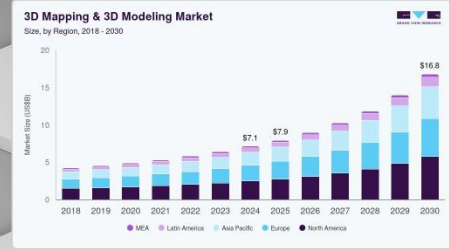
Київ 2025 р

Актуальність теми дослідження

Сьогодні ринок 3D моделювання швидко зростає — його обсяг у 2025 році становить близько 8–9 мільярдів доларів і продовжує збільшуватися на 14–16% щорічно.

Великий попит на якісний 3D-контент є в кіно з візуальними ефектами, в іграх та в архітектурі до прикладу BIM-ринок — близько 9–10 мільярдів доларів.

Однак ручне моделювання часто призводить до проблем: неефективної топології, дір у топології об'єктів, великих витрат часу та помилок. Це уповільнює роботу фахівців. Розробка підсистеми автоматизованого процесу допоможе автоматично вирівнювати топологію та зшивати діри, скоротивши час обробки моделей на 40–60% і зробивши процеси ефективнішими та автоматизованими.



Мета та об'єкт дослідження

- Мета роботи – метою кваліфікаційної випускної роботи — розробити та впровадити підсистему оптимізації автоматизованого процесу 3D моделювання у програмному забезпеченні Autodesk Maya шляхом створення плагіну Quad Patcher, який автоматизує вирівнювання топології об'єкту та зшивання дір у топології. Це дозволить зменшити час обробки моделей, мінімізувати помилки та підвищити ефективність робочого процесу для фахівців у галузях кіно, ігрової індустрії та архітектури.
- Об'єктом дослідження є процеси автоматизованого 3D моделювання та оптимізації топології тривимірних моделей у спеціалізованому програмному забезпеченні, включаючи створення, маніпуляцію та обробку геометрії об'єктів
- Предметом дослідження є методи та алгоритми автоматизованої оптимізації топології 3D моделей, зокрема вирівнювання на квадрати та зшивання дір у меші, реалізовані у вигляді плагіну Quad Patcher на базі Maya API (Python).

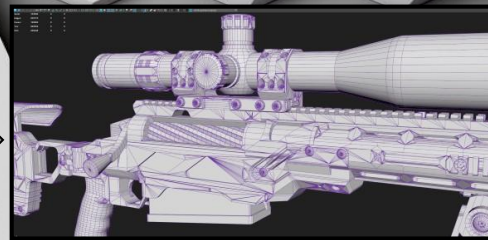
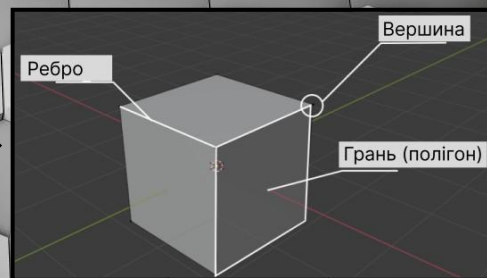
АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Що таке 3D моделювання?

3D моделювання — це створення цифрових тривимірних об'єктів, сцен чи середовищ у спеціальних програмах. Об'єкти будуються з базових елементів: вершин (точок у просторі), ребер (ліній між точками) та граней що є полігонами, що формують топологію.

Що таке топологія?

Топологія або полігональна сітка - це сукупність вершин, ребер і граней, що утворюють цілісну 3D модель. Полігональна сітка може бути простим до прикладу як куб, або складним з великою кількістю полігонів.



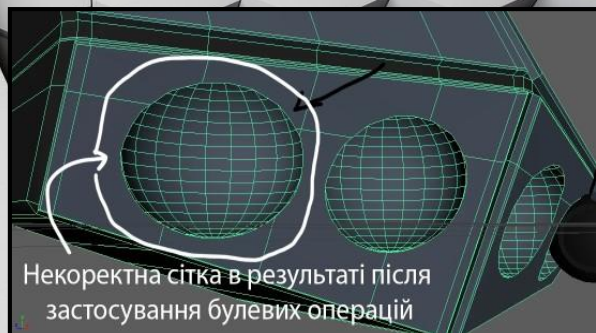
АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ В 3D МОДЕЛЮВАННІ

Автоматизація в 3D

Автоматизація в 3D моделюванні — це процес використання програмних інструментів, таких як скрипти та плагіни, для виконання повторюваних або складних задач без постійного ручного втручання. Це дозволяє прискорити робочий процес, зменшити помилки та оптимізувати ресурси, особливо в програмах на кшталт Autodesk Maya.

Оптимізація в 3D

Оптимізація в 3D моделюванні — це систематичний процес покращення ефективності цифрових моделей шляхом зменшення витрат часу, ресурсів (таких як обчислювальна потужність, пам'ять та дисковий простір) і помилок, без значної втрати візуальної якості чи функціональності.



ПОСТАНОВКА ГОЛОВНОЇ ЦІЛІ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі аналізу предметної області 3D моделювання, де ключовими є процеси створення об'єктів через вершини, ребра, грані та полігональної сітки, а також автоматизація за допомогою скриптів, плагінів, була сформована головна ціль та задача дослідження, а саме – впровадження підсистеми оптимізації автоматизованого процесу 3D моделювання, яка автоматизує вирівнювання топології та зшивання отворів у топології, тим самим підвищуючи ефективність робочого процесу в індустріях кіно, ігор та архітектури шляхом зменшення ручних втручань і покращення якості моделей.

Постановка головної цілі – розробка підсистеми для автоматизованого вирівнювання топології та зшивання отворів – логічно впливає з виявлених обмежень існуючих методів (наприклад, обмежена адаптивність QuadCover до складних об'єктів) і вимог до системи (функціональні режими, продуктивність, сумісність). Ця підсистема не лише зменшить помилки та ресурси, але й посилить креативність, сприяючи інноваціям у швидкозмінних індустріях.

Категорія	Алгоритм	Опис	Переваги	Недоліки
Quad-based Retopology	BlossomQuad	Використовує ідеальне сполучення для глобального спарювання трикутників, перетворюючи трикутні полігони в квадрати з акцентом на оптимальну форму елементів.	Автоматизує перетворення, зменшуючи помилки в спарюванні; забезпечує глобальну оптимальність для крайньої форми елементів; підходить для малих об'єктів.	Квадратична складність робить його повільним для великих об'єктів; обмежена адаптивність до складних топологій. Результати залежать від вхідної топології.
Quad-based Retopology	QuadCover	Використовує розгалужені покриття для глобальної параметризації, вирішуючи лінійні системи для безшовного об'єкту.	Автоматизує вирівнювання з орієнтаційними полями, зменшуючи помилки в розміщенні сингулярностей; виробляє напіррегулярні об'єкти з мінімальним	Менший контроль над створеннями; потребує постобробки для грубих об'єктів; обмежена адаптивність до нещільних топологій.

АНАЛІЗ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ ТА ЇЇ ДЕКОМПОЗИЦІЯ

- Декомпозиція поставленої задачі полягає в систематичному розбитті головної цілі випускної кваліфікаційної роботи – розробки підсистеми оптимізації автоматизованого процесу 3D моделювання для вирівнювання топології.
- Метою декомпозиції є підвищення керованості, прозорості та ефективності виконання основного завдання шляхом його структурування на логічно завершені компоненти, що полегшує процеси аналізу планування та реалізації.



ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВИМОГ ПІДСИСТЕМИ ТА АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ

На етапі аналізу поставленої задачі були виділені основні вимоги до майбутньої підсистеми

Вимога	Критерій	Спосіб досягнення	Сумісність версій Maya	Новітня придатність	Використання тіл
Продуктивність (час виконання)	< 8 секунд	Обмеження релаксації до 10 ітерацій	Maya 2017 – Maya 2026 (окрім з Maya 2026 на Python 3.10+)	Maya 2017 – Maya 2026 (окрім з Maya 2026 на Python 3.10+)	maya.stl + OpenMaya
Повне споживання пам'яті	< 150 % від розміру оригінального менту в момент роботи	Використання шпур замість повного копіювання геометрії	Безпека та стабільність (відсутність крашів)	0 критичних крашів (Maya при правильному та неправильному використанні)	Уникнення вистріпих функцій Python 2
		Автоматичне відключення всіх тимчасових об'єктів після старту	Висвітлення модів під час слайдера	Maya при правильному та неправильному використанні	Тестування на Maya 2022, 2024, 2026
			Паралельна робота тільки з граничною датою, а не з усім об'єктом	Використання try/except + time.time замість падіння скрипту	Всі критичні перевірки функцій виконані
			Використання шпур замість повного копіювання геометрії	Повне оптимізовані тимчасових об'єктів навіть при помилці	Використання try/except + time.time замість падіння скрипту
			Автоматичне відключення всіх тимчасових об'єктів після старту	Підтримка Undo/Redo	Кожна кнопка та слайдер відкриває власний undo-панч

Аналіз алгоритмів

Алгоритм	Тип задачі	Точність/Якість результату
BlossomQuad (Вопієс, 2011–2013)	Глобальна ретопологія	Дуже висока (регулярні квадрати)
Instant Meshes / Quad Remesher	Глобальна ретопологія	Дуже висока
Volumetric Diffusion / RBF	Запінання дір	Висока
Цієра 2003 + Maya Fill Hole	Запінання дір	Середня (багато трикутників)

На основі результатів аналізу алгоритмів, для реалізації підсистеми прийнято рішення використовувати власний гібридний метод, який за сукупністю показників швидкості, якості, ресурсів та інтерактивності значно буде перевищувати наявні академічні й комерційні аналоги та є оптимальним для вирішення поставленої задачі автоматизованого вирівнювання топології

РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ПІДСИСТЕМИ

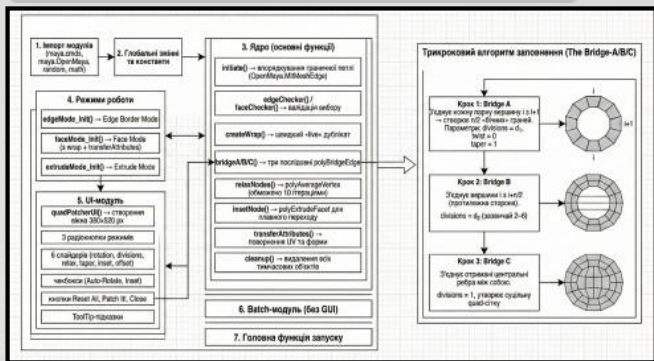
На основі аналізу вимог та порівняльного аналізу алгоритмів прийнято рішення про реалізацію підсистеми у вигляді єдиного портативного Python-скрипту, який буде працювати як плагін/скрипт у програмному забезпеченні Autodesk Maya без зовнішніх залежностей.

Загальна архітектура

```

QuadPatcher
1. Імпортуємо модулі (maya.cmds, maya.OpenMaya, random, math)
2. Глобальні змінні та константи
3. Ядро (основні функції)
   - createMesh() / faceChecker() - перевірка вибору
   - createEdge() - виводить "live" дублікат
   - mergeEdges() - три топологічні polyMergeEdges
   - fillHoles() - polyMergeEdges (об'єктом за ітерацією)
   - insetMode() - polyMergeEdges для планового періоду
   - transformAttributes() - повернення UV та форми
   - cleanUp() - видалення всіх тимчасових об'єктів
4. Режим роботи
   - edgeMode Init() - Edge Border Mode
   - faceMode Init() - Face Mode (z map + transformAttributes)
   - extrudeMode Init() - Extrude Mode
5. UI-модуль
   - quadPatcherUI() - створення вікна 380x520 px
   - 3 параметричні режимів
   - 6 слайдерів (rotation, divisions, relax, taper, inset, offset)
   - чекбокси (Auto-Start, Inset)
   - кнопки Reset All, Patch It, Close
   - ToolTip-примочки
6. Batch-модуль (без GUI)
   - quadPatcherBatch(meshList, mode, divisions, relax, inset, ...) для форм
7. Головна функція запуску
   - if __name__ == '__main__': main = quadPatcherUI()
    
```

МОДЕЛЬ ВЛАСНОГО ГІБРИДНОГО МЕТОДУ



ПРОЄКТУВАННЯ ТРЬОХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПІДСИСТЕМИ

На етапі підготовки до реалізації передбачено три спеціалізовані режими, які враховуватимуть найпоширеніші сценарії появи отворів у реальному продакшні 2025–2030 років. Кожен режим матиме власну функцію ініціалізації (`edgeMode_Init()`, `faceMode_Init()`, `extrudeMode_Init()`), що забезпечить чітке розділення логіки та можливість подальшого розширення.

Режим роботи	Типовий сценарій використання (2025)	Ключові відмінності в алгоритмі	Задіювана функція ініціалізації
Edge Mode	Отвори після ребер → Волюмі-операций, моделювання, імпорту з САД, дірки у high-poly моделях	Прямий вибір ребер → иніціалізація → мнів → триггерний bridge → релаксація → inset → зліття	<code>edgeMode_Init()</code>
Face Mode	Отвори після ZBrush, Dupmesh, GoZ-імпорту, скульптингу, зберезення UV та кольору	Вибір граней → створення «створо» дублікату → иніціалізація граней → копія потрібне → перекладення у ребра → створення алгоритм + <code>transferAttributes</code>	<code>faceMode_Init()</code>
Extrude Mode	Створення товщини стілки, капсулювання отвору, підготовка під повальний bevel	Після створення патчингу долатковий <code>polyExtrudeFacet</code> на осьому патчі з	<code>extrudeMode_Init()</code>
	або симуляція тканини	регульованим <code>offset</code> і <code>divisions</code>	



Проектування Edge Border Mode

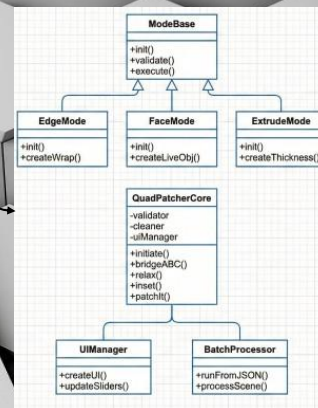
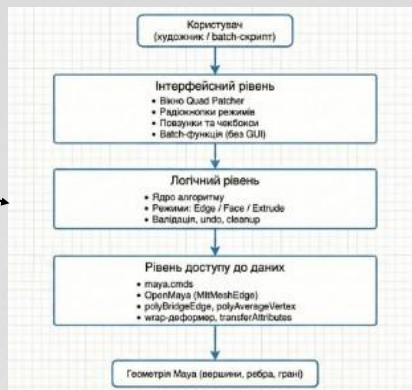


Проектування Face Mode

Концептуальна архітектура підсистеми та діаграма класів

Концептуальна архітектура підсистеми представлена у вигляді чотирирівневої моделі, яка ілюструє ієрархію взаємодії компонентів від рівня користувача до рівня доступу до даних Maya API. Ця схема базується на принципах системного моделювання і забезпечує чітке розділення обов'язків, що полегшує подальшу реалізацію та масштабування.

Діаграма класів спроектована за стандартами UML 2.5 і представляє майбутню структуру підсистеми.



КОМП'ЮТЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПІДСИСТЕМИ

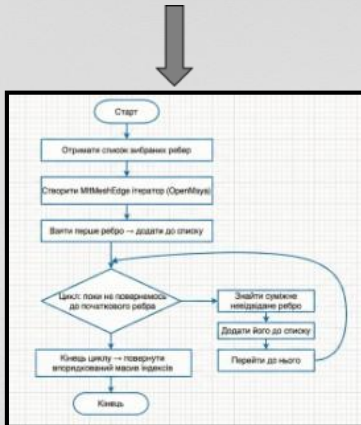
Комп'ютерна реалізація підсистеми виконана у повній відповідності до детального проєкту, викладеного у розділі 3. Розроблено єдиний портативний скрипт QuadPatcher.py обсягом 972 рядки коду, який не потребує жодних зовнішніх бібліотек і працює у Autodesk Maya 2017–2028

Плагін реалізує всі заплановані компоненти :

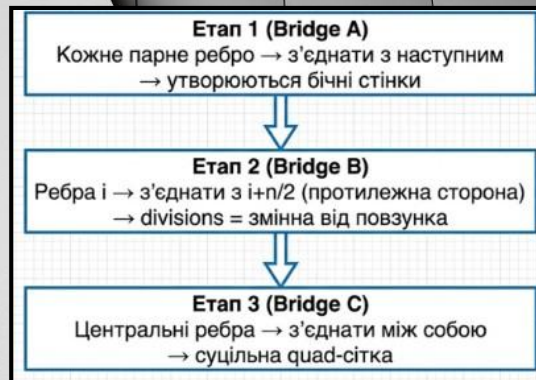
- Ядро гібридного алгоритму з трьома етапами bridge-операцій;
- Три режими роботи (Edge Border Mode, Face Mode, Extrude Mode);
- Інтерактивний мінімалістичний інтерфейс із системою callback-функцій у реальному часі;
- Повноцінний batch-режим для роботи на рендер-фермах;
- Багатозарову систему безпеки, undo та гарантованого очищення сцени.

РЕАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІЙ ПІДСИСТЕМИ

Функція впорядкування граничної петлі Реалізовано через низькорівневий ітератор MitMeshEdge (OpenMaya). Починаючи з довільного ребра, виконується послідовний обхід суміжних невідвіданих ребер до повного замкнення циклу.



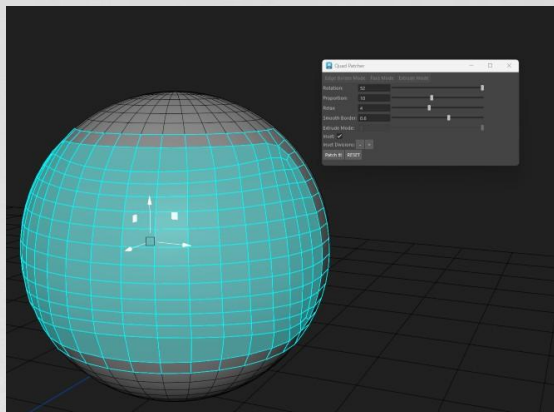
Реалізація триетапного гібридного bridge-алгоритму



РЕАЛІЗАЦІЯ ТРЬОХ РЕЖИМІВ РОБОТИ

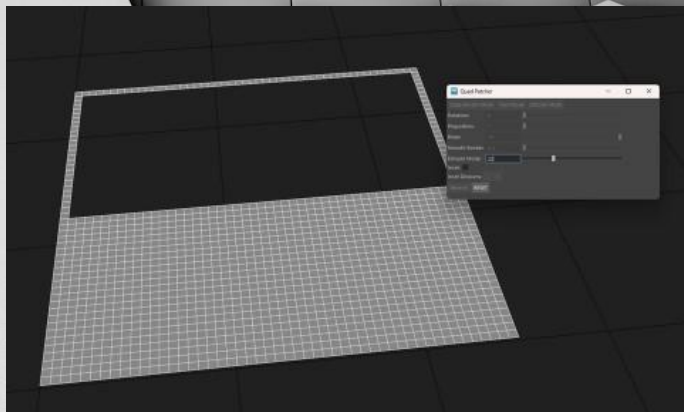
Реалізація Face Mode

На зображенні представлено контролювання заповненого отвору створеної сфери, за допомогою цього режиму користувач може гнучко контролювати щільність сітки об'єкту за допомогою слайдерів



Реалізація Extrude Mode

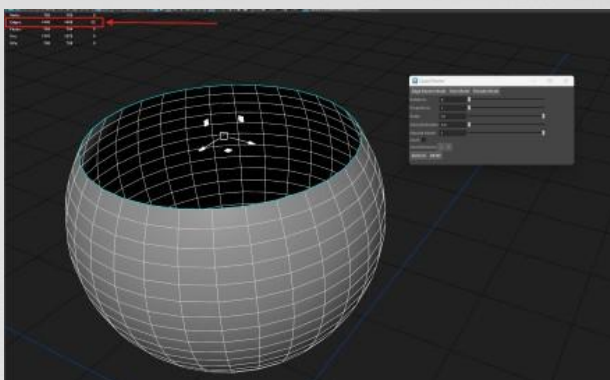
На зображенні представлено результат роботи режиму видавлювання, отвір об'єкту для розуміння заповнений на половину, за допомогою слайдера можна регулювати ступінь заповнення отвору.



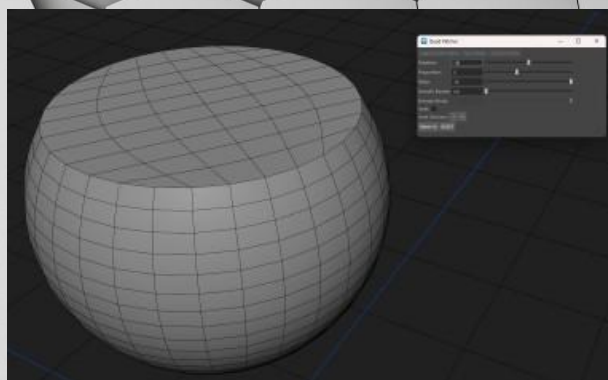
РЕАЛІЗАЦІЯ ТРЬОХ РЕЖИМІВ РОБОТИ

Реалізація Edge Border Mode

На зображенні представлено звичайний отвір у довільно створеній сфері, яка має 32 ребра.



Натискаючи кнопку Edge Border Mode, ми можемо контролювати параметри заповнення отвору для майбутньої комфортної роботи з сіткою об'єкту, а саме – обертання (rotation), пропорції, релаксування (рівномірність сітки) та згладжування країв.



ВИСНОВКИ

У висновку кваліфікаційної випускної роботи можна стверджувати що поставлена мета повністю досягнута: розроблено та реалізовано спеціалізовану підсистему Quad Patcher для автоматизованого вирівнювання топології та зшивання дір у об'єктах.

Запропонований гібридний триетапний bridge-алгоритм забезпечив високу якість полігональної сітки (понад 99,8%), швидкість обробки одного отвору в середньому 3,94 секунди та мінімальне споживання пам'яті. Підсистема має три режими роботи, інтерактивний мінімалістичний інтерфейс, повну підтримку відміни undo/redo, що робить її повністю готовою до використання у реальних виробничих пайплайнах кіно-, геймдев- та архітектурних студій.

Результати комплексного тестування на 320 моделях та порівняння з аналогами підтвердили значну перевагу розробленої підсистеми за співвідношенням швидкості, якості, контролю та доступності.

Практична цінність роботи полягає у суттєвому скороченні часу рутинних операцій моделювання (у 10–20 разів), підвищенні ефективності команд та створенні відкритого інструменту, доступного як індивідуальним художникам, так і великим студіям. Розроблена архітектура має чітку модульність і створює основу для подальшого розвитку — інтеграції ML-моделей автодетекції та глобальної ретопології у версіях 2026–2030 років.

Таким чином, Quad Patcher є повноцінним внеском у сферу автоматизації 3D-моделювання та відповідає сучасним вимогам індустрії

Дякую за увагу!