

Юрій Прусак, Наталя Гіссовська

¹ НЛТУ України, Львів, Україна, ORCID: 0000-0003-3349-4468,
y.prusak@nltu.edu.ua

² НЛТУ України, Львів, Україна, ORCID: 00090-0006-1054-2411,
gissovska.n@nltu.edu.ua

Автоматизація оцінювання якості 3D-моделей за допомогою нейронних мереж: підвищення об'єктивності та ефективності роботи викладача

***Анотація.** В умовах війни в Україні підвищення ефективності викладання 3D-моделювання для студентів Комп'ютерних наук є критичним, що вирішується шляхом автоматизації оцінювання за допомогою нейронних мереж. Цей підхід усуває суб'єктивність і трудомісткість ручної перевірки, зосереджуючись на строгих технічних стандартах 3D-моделей (топологія, UV-розгортки, оптимізація). Спеціалізовані архітектури нейромереж ідентифікують та локалізують артефакти, надаючи миттєвий, конструктивний зворотний зв'язок і забезпечуючи об'єктивність оцінювання. Таким чином, викладач звільняється від рутинної технічної перевірки, концентруючись на концептуальних та дидактичних аспектах роботи.*

***Ключові слова** – нейронні мережі, штучний інтелект, 3D-модель, автоматизація оцінювання, об'єктивність оцінювання.*

Сьогодні, а особливо, в контексті повномасштабної війни, робота викладача і студентів в Україні може бути не нормованою через часті атаки агресора та тривалі вимкнення електроенергії. Тож, підвищення ефективності роботи викладача є важливою на перетині комп'ютерних наук та навчального процесу у сфері 3D-моделювання. Автоматизація в даній сфері вирішує фундаментальну проблему: суб'єктивність та трудомісткість ручної перевірки технічних аспектів великої кількості студентських проєктів.

У контексті викладання 3D-моделювання для студентів спеціальності «Комп'ютерні науки» особлива увага приділяється не лише візуальній привабливості, але й технічній якості моделі, її готовності до використання в ігрових рушіях, симуляціях чи додатках віртуальної/доповненої реальності.

На відміну від художніх шкіл, де основний критерій – естетика, у комп'ютерних науках 3D-моделі повинні відповідати строгим технічним стандартам, оскільки вони безпосередньо впливають на продуктивність системи. Ключові технічні параметри, які мають бути оцінені, включають:

- топологію (Mesh Topology): правильність структури сітки, відсутність трикутників у місцях, де потрібна деформація (якщо модель анімується), та підтримка чистих квадів (чотирикутників);
- оптимізацію (Polycount): адекватна кількість полігонів (LOD – Level of Detail). Модель не має бути надмірно деталізованою там, де це не потрібно для економії ресурсу;
- UV-розгортки (UV Mapping): відсутність перекриття (overlapping) поверхонь, ефективне використання UV-простору, коректні шви текстур;
- технічні артефакти: наявність N-гонів (полігони з понад чотирма вершинами), розривів (holes), некоректно орієнтованих нормалей (flipped normals), ізольованих вершин (isolated vertices).

Традиційне ручне оцінювання викладачем має значні недоліки, особливо при великій кількості студентів і проєктів, а саме:

- суб'єктивність: Оцінка візуальних аспектів завжди певною мірою суб'єктивна;
- висока трудомісткість: Ретельна перевірка всіх технічних артефактів у складній моделі (особливо топології та UV) вимагає значного часу;
- неоднорідність оцінювання: Через втому чи обмеження часу, відгук викладача може бути менш детальним або стандартизованим.

В свою чергу, нейронні мережі (НМ) пропонують ефективне рішення, трансформуючи процес оцінювання зі суб'єктивної експертної думки у вимірюваний, об'єктивний аналіз на основі навчених параметрів.

Для ефективного оцінювання 3D-моделей використовуються спеціалізовані архітектури НМ, які можуть працювати безпосередньо з даними сітки (Mesh-based Neural Networks) або з рендерингом/проекціями моделі (Convolutional Neural Networks – CNNs). Набір даних для навчання НМ повинен

складатися з 3D-моделей, які були попередньо анотовані викладачем. Анотація включає маркування конкретних дефектів (наприклад, «тут N-гон», «тут погана UV-розгортка») та загальну оцінку якості.

Оскільки 3D-сітки є нерегулярними та неструктурованими даними, для їх обробки можуть застосовуватися Point Cloud Networks або Graph Convolutional Networks (GCNs), які працюють безпосередньо з вершинами, ребрами та гранями моделі [1].

Нейромережі можуть бути навчені виконувати наступні критичні завдання:

- класифікація артефактів: Ідентифікація та локалізація N-гонів, відкритих країв (boundary edges), отворів, перевернутих нормалей. Наприклад, НМ може класифікувати кожен полігон як «допустимий» або «дефектний»;
- оцінка топологічної якості: Використання НМ для вимірювання плавності (smoothness) сітки, придатності до ущільнення сітки (Subdivision Surface Readiness) та оцінки квад-домінування. Це дозволяє НМ присвоювати «чистоті» топології числовий показник;
- аналіз UV-розгортки: Нейромережа може оцінювати ефективність використання UV-простору (packing efficiency), виявляти перекриття та спотворення (stretching) текстурних координат.

Найбільша цінність автоматизованого оцінювання полягає в генерації детального, конструктивного та миттєвого зворотного зв'язку. Система не просто каже, що модель «погана», а точно вказує на дефектну ділянку сітки (наприклад, «N-гон знайдено у полігоні №52») та пропонує потенційні шляхи виправлення [4]. Штучний інтелект (ШІ) може ранжувати виявлені помилки за їхнім критичним впливом на продуктивність чи анімацію (наприклад, «Критична помилка: перевернуті нормалі»). Також, НМ може порівнювати студентську модель з «ідеальною» моделлю високої якості виконання та виявляти аномалії, які потребують уваги [2].

Використання ШІ суттєво зменшує людський фактор, забезпечуючи стандартизовану оцінку відповідно до чітких, заздалегідь визначених технічних

критеріїв. Кожен студент отримує оцінку, засновану на однакових алгоритмах, що значно підвищує справедливість та об'єктивність. Студенти отримують відгуки миттєво після завантаження роботи, що дозволяє їм оперативно виправляти помилки. Викладач при цьому звільняється від рутинної технічної перевірки і може зосередитися на більш важливих, концептуальних та дизайнерських аспектах роботи.

Автоматизований аналіз привчає студентів до суворих технічних вимог, які є стандартом в ігровій індустрії (Game Development) та комп'ютерній графіці. Вони навчаються думати не лише про форму, але й про ефективність та оптимізацію своїх 3D-активів.

Попри значні переваги інтеграції ІІІ в систему оцінювання студентських проєктів, існують й серйозні виклики у впровадженні цієї системи, а саме:

- створення великого, анотованого набору даних високоякісних та дефектних 3D-моделей є складним і ресурсомістким завданням [3];
- нейромережа навчена на моделях персонажів, може погано працювати з архітектурними чи інтер'єрними моделями. Потрібна розробка більш універсальних або модульних архітектур;
- штучний інтелект досі не може адекватно оцінити креативну цінність моделі чи її відповідність задуму, лише технічні аспекти. Потрібен гібридний підхід (ІІІ для техніки, викладач для дизайну).
- розробка метрик для кількісного вимірювання «топологічної чистоти».
- створення інтегрованої платформи для 3D-моделювання, яка поєднує навчальні матеріали, середовище для моделювання та ІІІ-оцінювач.

Висновки. Інтеграція нейронних мереж у процес оцінювання якості 3D-моделей, виконуваних студентами на заняттях – це потужний інструмент для підвищення об'єктивності, ефективності та релевантності викладання 3D-моделювання у сфері комп'ютерних наук. Вона дозволяє готувати фахівців, які не тільки володіють художніми навичками, але й глибоко розуміють технічні вимоги індустрії до оптимізованого 3D-контенту, що є ключовим для сучасних розробників. Також, виявили низку труднощів у реалізації даної методики оці-

нювання студентських робіт, що передбачає складний процес її навчання та подальшої інтеграції.

Список використаних літературних джерел

- [1] Wang Y., Sun Y., Liu Z., Sarma S. E., Bronstein M. M., Solomon J. M. (2019). Dynamic Graph CNN for Learning on Point Clouds. Association for Computing Machinery, New York, United States – Volume 38, Issue 5, Article: 146, Pages 1–12;
- [2] Sun Ch., Xia F., Wang Y., Liu Y., Qian W., Zhou A. (2018). A deep learning model for automatic evaluation of academic engagement. L@S '18: Fifth (2018) ACM Conference on Learning @ Scale, London, United Kingdom. Association for Computing Machinery, New York, United States – Article: 31, Pages 1–4;
- [3] Wang H., Zhang J. (2022). A Survey of Deep Learning-Based Mesh Processing. Communications in Mathematics and Statistics. Springer – 14 February 2022, Volume 10, pages 163–194;
- [4] Eltaief A., Ben Amor S., Louhichi B., Alrasheedi N., Seibi A. (2024). Automated Assessment Tool for 3D Computer-Aided Design Models. Applied Sciences. – May 2024. Volume 14, Issue 11, Article: 4578, Pages 1–18.

Automation of 3D Model Quality Assessment Using Neural Networks: Enhancing Instructor's Objectivity and Efficiency

Yurii Prusak, Natalia Gissovska

In the context of the war in Ukraine, enhancing the efficiency of teaching 3D modeling to Computer Science students is critical, which is solved by automating assessment using Neural Networks. This approach eliminates the subjectivity and laboriousness of manual verification, focusing on strict technical standards of 3D models (topology, UV maps, optimization). Specialized Neural Networks architectures identify and localize artifacts, providing instant, constructive feedback and ensuring objectivity in the evaluation process. Thus, the instructor is freed from routine technical verification, concentrating instead on conceptual and design aspects of the work.