

УДК 004.92

Гетман С.В.¹, Киричек Г.Г.²

¹ студ. гр. КНТ-515м НУ «Запорізька політехніка»

² доц. НУ «Запорізька політехніка»

OUTLINE ШЕЙДЕР ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D-СЦЕН

Сучасні тенденції розвитку комп'ютерної графіки орієнтовані не лише на фотореалістичність, але й на створення стилізованих візуальних ефектів, які імітують традиційні художні техніки. Одним із таких підходів є використання контурного відображення об'єктів, яке дозволяє підкреслити їх геометрію та межі. Особливої актуальності цей підхід набуває в задачах розробки ігор, навчальних симуляторів та візуалізацій, де важливо забезпечити чіткість сприйняття сцени [1]. У роботі досліджено підходи до створення контурного (outline) шейдера як складової стилізованої візуалізації тривимірних сцен. Обґрунтовано доцільність використання контурного виділення об'єктів для підвищення візуальної виразності, читабельності та художньої цілісності сцени. Розглянуто інтеграцію з toon шейдингом як комплексного підходу до імітації графічного стилю коміксів та анімації [2].

Метою роботи є розробка та аналіз ефективного методу створення outline шейдера для стилізованого відображення тривимірних об'єктів. Об'єктом дослідження є процес створення стилізованої візуалізації тривимірних сцен. Предметом дослідження є методи та технології побудови контурних шейдерів у вузлових графічних середовищах. Для досягнення поставленої мети визначено задачі: дослідити принципи формування контурів у 3D-графіці; реалізувати вузлову модель outline шейдера; проаналізувати використання ефекту Френеля для виділення силуетів; здійснити інтеграцію з toon-шейдером та оцінити візуальну ефективність отриманого результату.

У роботі використано методи комп'ютерної графіки, процедурного моделювання матеріалів та вузлового програмування [3]. Реалізація здійснювалася в середовищі Blender Shader Editor (рис.1) із застосуванням таких тех-

нологічних компонентів: вузол Principled BSDF для формування базового матеріалу; перетворення шейдера у колірний простір за допомогою Shader to RGB; керування палітрою через Color Ramp; використання вузла Layer Weight для обчислення Fresnel-ефекту; логічна обробка сигналу за допомогою вузла Less Than та комбінування результатів через вузол Mix Shader / Mix RGB [4].

Застосовано метод порогового виділення контурів на основі залежності інтенсивності від кута огляду. Запропонований підхід до створення outline шейдера базується на використанні ефекту Френеля, який визначає зміну відбиття світла залежно від кута між напрямком спостереження та нормаллю поверхні. Це дозволяє природним чином виділити крайові області об'єкта.

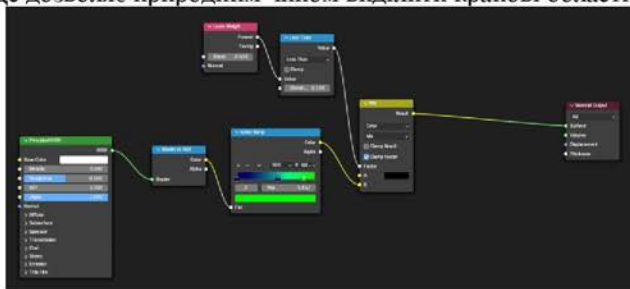


Рисунок 1 - Створення outline шейдера в редакторі

На першому етапі формується базовий матеріал за допомогою вузла Principled BSDF, який визначає фізично коректні властивості поверхні. Далі цей матеріал трансформується у кольорове представлення через Shader to RGB, що дає можливість подальшої обробки як текстурного сигналу. Для стилізації кольорів використовується Color Ramp, який забезпечує дискретизацію кольорової гами, характерну для toon шейдингу. Паралельно формується контурний сигнал: вузол Layer Weight генерує значення Fresnel, що відображає залежність інтенсивності від кута огляду. Отриманий сигнал піддається пороговій обробці у вузлі Less Than, що дозволяє виділити області, близькі до силуету. На фінальному етапі відбувається змішування базового кольору з контуром за допомогою вузла Mix, де як другий компонент використовується чорний колір. У результаті формується тонка контурна лінія, яка автоматично адаптується до положення камери.

Інтеграція outline шейдера з toon шейдером (рис. 2) забезпечує синергетичний ефект. Тоон шейдинг відповідає за спрощене, дискретне відображення освітлення, тоді як outline підкреслює геометричну структуру об'єкта. Зміна кольорової палітри тоон шейдера дозволяє досягти високого

контрасту між об'єктом і його контуром, що значно покращує візуальну ієрархію сцени.

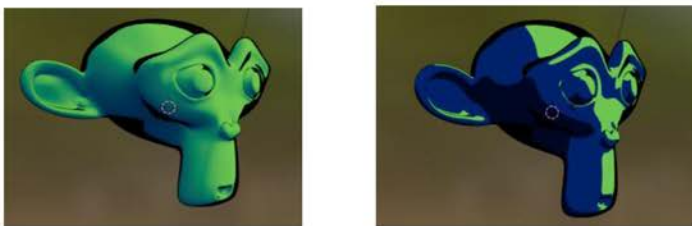


Рисунок 2 - Інтеграція outline шейдера з toon шейдером

Практична реалізація запропонованого підходу показала, що використання outline шейдера дозволяє: підвищити читабельність складних сцен; покращити сприйняття глибини та форми об'єктів; досягти виразного стилізованого ефекту та забезпечити адаптивність контурів до зміни ракурсу камери. Застосування комбінованого підходу (toon + outline) дозволяє отримати візуальний стиль, характерний для коміксів, анімації та сучасних відеоігор. Наукова новизна полягає у вдосконаленні методу побудови контурного шейдера на основі поєднання Fresnel-ефекту та порогової логічної обробки сигналу, що дозволяє забезпечити адаптивне виділення контурів без використання геометричного дублювання або постобробки.

Проведене дослідження підтвердило ефективність використання outline шейдерів як інструменту стилізації тривимірних сцен. Запропонований підхід дозволяє реалізувати контурне виділення об'єктів із мінімальними обчислювальними витратами та високою гнучкістю налаштування. Запропоновано метод побудови outline шейдера на основі вузлової моделі з використанням ефекту Френеля, логічних операцій та змішування кольорів. Наведено результати практичної реалізації та аналіз ефективності запропонованого рішення. Використання Fresnel-ефекту забезпечує природну адаптацію контурів до умов спостереження, а інтеграція з toon шейдингом формує цілісну художню концепцію. Отримані результати можуть бути використані у розробці інтерактивних додатків, навчальних систем та ігрових рушіїв. Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні підходу шляхом використання постпроцесингових ефектів та методів машинного навчання для автоматичної стилізації зображень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Hamdani A. 3D Environment Design with Blender 5: Enhance your modeling, texturing, and lighting skills to create realistic 3D scenes. Packt Publishing Ltd, 2026.
2. Kyrychek H., Hetman S. Shader optimisation during scene creation in Blender. *International scientific conference «Development of scientific thought: innovations, achievements and prospects»*. (Riga, the Republic of Latvia, 3–4 oct. 2025). Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2025. P. 9-13. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-601-0-2>
3. Lens S. Procedural 3D Modeling Using Geometry Nodes in Blender: Discover the professional usage of geometry nodes and develop a creative approach to a node-based workflow. Packt Publishing Ltd, 2023.
4. Kogut W. The analysis of Blender open-source software cloth simulation capabilities. *Journal of Computer Sciences Institute*, 2023, 26: 83-87.