



УДК 004.42; 004.94; 004.9

DOI: 10.20535/2077-7264.3(77).2022.267894

© Д. Р. Сушко, магістрант, К. І. Золотухіна, канд. техн. наук,
доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

ВПЛИВ БАЗОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК 3D-ОБ'ЄКТІВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ПРОДУКТІВ

У роботі досліджено залежності продуктивності сцени від кількості полігонів та розміру текстурних карт 3D-моделі. Метою цього дослідження є отримання кореляції отриманих даних про вплив характеристик тестового зразка на сцену, аби сформулювати практичні рекомендації щодо процесу розробки та оптимізації мультимедійних продуктів.

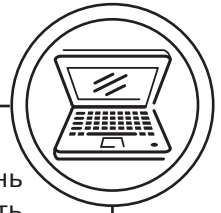
Ключові слова: 3D-моделі; продуктивність; мультимедійний продукт; відеогра; кількість полігонів; текстурні карти; параметри експорту текстур; частота кадрів.

Постановка проблеми

3D-ігри як різновид мультимедійних продуктів — найпопулярніший вид розваг в наш час. Нині вони стали прикладом найскладнішого мультимедійного продукту, комплексність яких складно переоцінити. Прийнято вважати, що відеоігровій індустрії умовно близько 30-ти років. За цей час чітко прослідковувався взаємозв'язок розвитку технологій з точки зору апаратного та програмного забезпечення. Проте базиси розробки ігор кардинально не змінювались — в іграх завжди має бути рушій, як основа, на якій і відтворюються всі моделі, анімації, скрипти. Саме рушій створює простір, в якому відбувається ігровий процес. Як відомо, відеоігри характеризуються тим, що процес супроводжується постійними змінами кадрів, що розраховуються відповідно до об'єктів, світла, ані-

мації, програмної логіки і власне дій гравця. Кожен кадр рендериться та, в середньому у 30-ти кадрах в секунду, як у відео, представляється гравцеві. Саме в цей момент з'являється фактор продуктивності сцен, рівнів та ігор загалом. Продуктивність залежить як від апаратного, так і від програмного забезпечення. Програмна продуктивність може полягати у швидкодії програмного коду, його оптимізованості. Також вона може залежати від 3D-об'єктів, їх характеристик, а також характеру компонування, розташування, організації їх в середині рівнів. Найбазовіші характерні риси об'єктів, подібно до рушія, теж залишилися — геометрія та текстурні карти. Ці базові первинні фактори справедливі для всіх сучасних 3D-ігор; в їх дослідженні і полягає ця робота.

© Автор(и) 2022. Видавець КПІ ім. Ігоря Сікорського.
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Аналіз попередніх досліджень

На сьогодні є достатньо багато опублікованого матеріалу, що так чи інакше торкається теми продуктивності та оптимізації ігор, мультимедійних продуктів. В першу чергу матеріал розглядається в контексті 3D-відеоігор. Так, наприклад, проводяться загальні дослідження кореляції продуктивності між рушіями [1], в яких відбувається дослідження впливу 3D-контенту з трьома рівнями якості за умови різних розмірів екрану. Також проводились подібні дослідження, але вже стосовно різних ігор та впливу на CPU в контексті вибірки моделей пристроїв та операційних систем [2]. Проте ці дослідження об'єднують не дуже великий прикладний аспект результатів.

Варто зазначити, що також відбувались і більш деталізовані дослідження саме апаратної складової, як наприклад, в джерелі [3], де порівнювались GPU та CPU з точки зору навантаження на них різними відеоіграми, результати чого виражались у конкретних значеннях кадрів/с.

Продовжуючи тему GPU, є дуже цікаве дослідження внутрішньої архітектури відеокарти з метою поліпшити продуктивність ігор зі сторони програмного та апаратного забезпечення [4]. Разом з тим, воно є доволі вузько спеціалізованим, хоча і ґрунтовним.

Також існують аналітичні дослідження саме рушіїв, які торкаються теми класифікації у тому числі й за їхніми особливостями і оптимізованістю при вирішенні спеціалізованих завдань [5].

При аналізі попередніх досліджень стало зрозуміло, що конкрет-

них та прикладних досліджень небагато. Окрім того, більшість з них не стосуються дослідження характеристик об'єктів, що зумовлюють фактор навантаження при дослідіах. Як правило, цей аспект дослідження узагальнюється та подається умовним поділом на два-три рівні деталізації. Також проблемою є невиокремлені результати досліджень, тобто такі, в яких складно зрозуміти вплив окремих параметрів на продуктивність. Самі ці аспекти у першу чергу будуть враховані при проведенні даного дослідження.

Мета роботи

Визначення впливу параметрів кількості полігонів та розміру текстур створеної тестової тривимірної моделі на продуктивність у рушії при створенні мультимедійного продукту.

Результати проведених досліджень

В роботі проведено експериментальне дослідження, в якому визначено вплив базових характеристик моделі на продуктивність сцени. З цією метою було створено тестову модель, що мала бути високо деталізованою і повинна відповідати усім актуальним вимогам. У процесі стояла ціль створити таку полігональну модель, яка б дозволила проводити на її базі дослідження на декількох рівнях деталізації. Як тестовий зразок створено об'єкт на прикладі ігрового елемента — меча з усіма додатковими елементами, етапи створення якого включали б ретопологію та створення п'яти основних текстурних карт (рис. 1). При виконанні дослідіа було використано джерела [6–10], в яких



Рис. 1. Розроблений тестовий об'єкт на прикладі ігрового елемента

містяться документація та вказівки з використання окремих інструментів Unreal Engine.

Після створення текстур, було проведено їх збереження у фор-

маті PNG у режимі 16; 8 + dithering та 8 bit. Результати подано у вигляді таблиць 1–3, де зазначено рівні деталізації від 0 та 5 (LOD — Levels of Detail), тобто набір вимог, що визначає повноту деталізації і пропрацьовування елементів цифрової інформаційної моделі. Результати представлено для п'яти текстурних карт: roughness, metallic, diffuse, height, normal.

Експериментальне дослідження проводилось на базі рушія Unreal Engine 4.26.2. При цьому відеокарта, що і є одним і найголовнішим фактором дослідження має такі характеристики, що наведені в табл. 4.

Таблиця 1

Вага 16 bit текстур

	Розмір	Normal	Diffuse	Height	Roughness	Metallic
LOD0	4096×4096	38 394 246	29 888 964	1 014 177	6 784 598	5 121 381
LOD1	2048×2048	11 409 111	8 686 205	302 751	1 750 426	1 519 491
LOD2	1024×1024	3 138 191	2 481 094	112 216	462 899	465 331
LOD3	512×512	854 317	712 412	41 626	128 292	141 963
LOD4	256×256	232 674	205 010	15 441	36 634	43 351
LOD5	128×128	63 267	53 192	5 825	10 457	12 408

Таблиця 2

Вага 8+ bit текстур

	Розмір	Normal	Diffuse	Height	Roughness	Metallic
LOD0	4096×4096	18 790 514	19 709 509	4 012 665	4 669 765	2 882 904
LOD1	2048×2048	5 255 094	5 246 110	1 025 960	1 283 996	891 146
LOD2	1024×1024	1 440 304	1 389 332	266 538	357 118	277 484
LOD3	512×512	388 176	366 562	69 917	100 404	84 726
LOD4	256×256	102 458	97 513	18 569	26 273	23 824
LOD5	128×128	26 437	26 022	4 953	7 724	7 455



Таблиця 3

Вага 8 bit текстур

	Розмір	Normal	Diffuse	Height	Roughness	Metallic
LOD0	4096×4096	12 028 272	12 388 476	194 293	4 669 765	2 882 904
LOD1	2048×2048	3 725 499	3 494 394	82 928	1 283 996	891 146
LOD2	1024×1024	1 095 986	997 466	34 832	357 118	277 484
LOD3	512×512	314 298	282 923	13 475	100 404	84 726
LOD4	256×256	86 550	80 243	4 978	26 273	23 824
LOD5	128×128	23 166	20 859	1 708	7 724	7 455

Таблиця 4

Характеристики відеокарти

Назва	Частота, МГц	Пам'ять, Гб	Макс.роз-дільна здатність	3D API	Тип пам'яті	Розрядність
GeForce GTX 1650	12000	4	7680×4320	DirectX 12, OpenGL 4.6	GDDR6	128 біт

У самому русії після імпортування тестового зразка було створено матеріал та рівні деталізації за допомогою інструментів оптимізації, що проілюстровано на рис. 2. Це необхідно для отримання більшої кількості експериментальних значень.

Після створення матеріалу та рівнів деталізації розпочалось дослідження навантаження геометрії на русій у мілісекундах. Було розміщено 100 моделей, та за допомогою команди Profile GPU було отримано дані підкладки BasePass. Для чіткого розмежо-

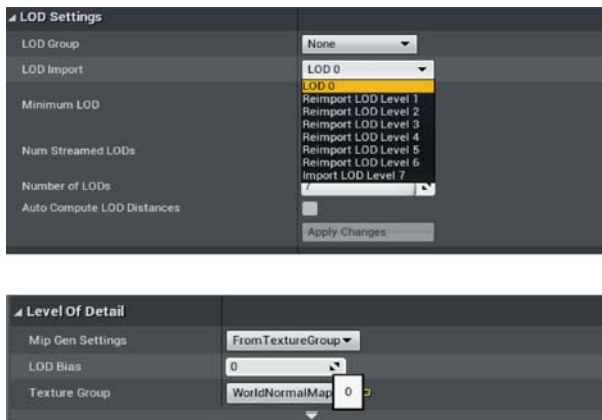


Рис. 2. Створення рівнів деталізації



Таблиця 5

Кількість мілісекунд, що витрачені на геометрію

Навантаження на рушій, мс					
LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4	LOD5
16277	8139	4069	2034	1018	509
0,80	0,51	0,38	0,32	0,30	0,29

вування результатів розглядалась саме BasePass, бо вона несе в собі інформацію про час обрахунку кількості полігонів геометрії моделі, а також шейдера, який у свою чергу відповідає за складність матеріалу. У випадку моделі, що розглядається, матеріал максимально простий і складається просто з підключених попередньо створених текстур. Отже, таким чином, отримано дані по кожному з рівнів деталізації як простої полігональної сітки, так і моделі з шейдерами. Отримані результати скомпоновано у табл. 5, 6 відповідно та представлено на рис. 3, 4.

Наступним етапом є дослідження впливу текстур на продуктивність. У процесі стало зрозуміло, що прослідкувати вплив текстур

на кількість кадрів у секунду або швидкодію складно, тому було прийнято рішення дослідити вплив навантаження текстур на пам'ять у самому рушії. Як виявилось, для рушія не принципово, яка вага самого файлу, йому важливий розмір і кількість каналів, що чітко видно в табл. 7.

Безпосередній дослід відбувався завдяки інструменту Streaming Pool, у рушії. Результати дослідження подані в табл. 8, 9 та на рис. 5.

Отже, судячи з того, які результати було отримано, можна зробити певні висновки. Незважаючи на доволі поширену думку, що у сучасних іграх, мультимедійних продуктах кількість полігонів не має такого великого впливу на продуктивність, результати

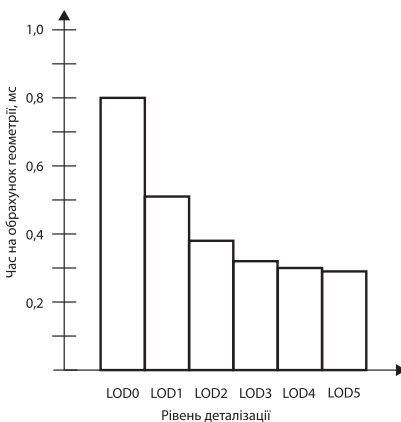


Рис. 3. Обрахунок геометрії моделі

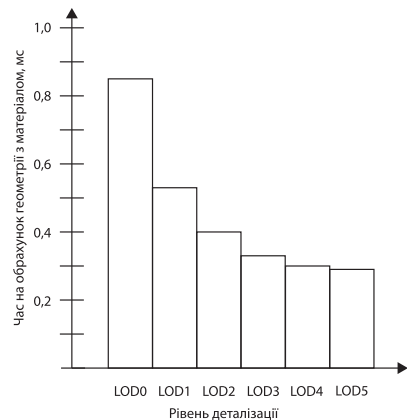


Рис. 4. Обрахунок геометрії моделі з матеріалом



Таблиця 6

Кількість мілісекунд, що витрачені на модель загалом

Навантаження на рушій, мс					
LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4	LOD5
16277	8139	4069	2034	1018	509
0,85	0,53	0,40	0,33	0,30	0,29

Таблиця 7

Текстурні карти в рушії

	Normal	Diffuse	Height	Roughness	Metallic
LOD0	21845 Kb	10923 Kb			
LOD1	5461 Kb	2731 Kb			
LOD2	1365 Kb	683 Kb			
LOD3	341 Kb	171 Kb			
LOD4	85 Kb	41 Kb			
LOD5	21 Kb	11 Kb			

Таблиця 8

Об'єднаний розмір текстур у рушії

Роздільна здатність	Кількість матеріалів				
	3	6	9	12	15
	Розмір, Kb				
4096×4096	196611	393222	589833	786444	983055
2048×2048	49155	98310	147465	196620	245775
1024×1024	12291	24582	36873	49164	61455
512×512	3075	6150	9225	12300	15375
256×256	747	1494	2241	2988	3735
128×128	195	390	585	780	975

Таблиця 9

Навантаження на виділену під текстурі пам'ять

Роздільна здатність	Навантаження при 200 Мб, %				
	3	6	9	12	15
4096×4096	96	192	288	384	480
2048×2048	24	48	72	96	120
1024×1024	6	12	18	24	30
512×512	1	3	4	6	7
256×256	0,3	0,7	1	1	1
128×128	0,009	0,01	0,02	0,03	0,04

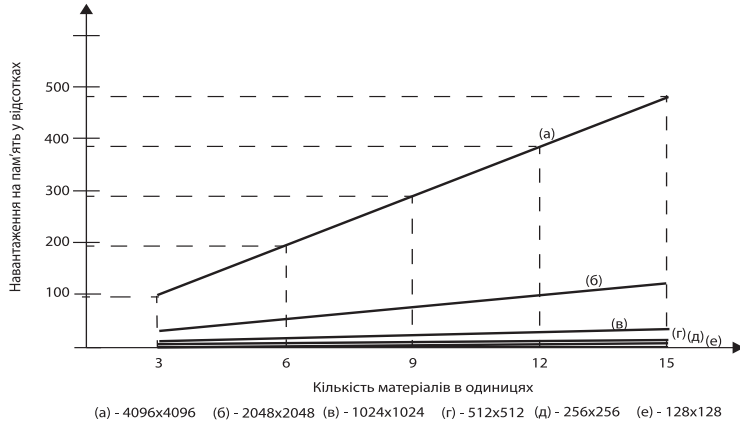


Рис. 5. Навантаження текстур різного розміру

показали, що при ста моделях кількість часу на обробку одного кадру збільшується на 0,85 мс. Тобто, якщо нам потрібний результат у 60 кадрів/с, то на один кадр має витратитись 16,6 мс, а якщо на 30 кадрів/с, то 33,3 мс — віднімаючи від цих значень отримане у результаті дослідження, стає зрозуміло скільки залишається на усі інші процеси. Може здатись, що втрати невеликі, проте це не так, бо BasePass, описаний вище, лише один з декількох десятків підпроцесів. Це, якщо не брати на увагу найскладніші види процесів: освітлення, прозорість та постпроцесінг — вони можуть займати ледь не 60 % від усіх розрахованих мілісекунд. Звичайно усе залежить від самої специфіки гри, в якій можуть бути різні за щільністю і кількістю об'єкти у кадрі, ступенем їх деталізації, залежно від якого лица ведеться ігровий процес, а також складністю шейдерингу. Разом з тим, в умовах, коли оптимізація найважливіших процесів дійде до своїх лімітів, вже необхідно буде звертати увагу саме на геометрію, бо

для якісного ігрового процесу має значення кожен додатковий кадр/с. Стосовно характеристик текстурних карт і дослідженням їх впливу на пам'ять, можна зробити наступний висновок і рекомендацію — текстури дійсно неймовірно сильно навантажують і їх оптимізація має критично важливе значення, особливо це усвідомлюється при перегляді об'єму оперативної пам'яті в сучасних найбільш розповсюджених моделях відеокарт.

Висновки

1. Визначено, що характеристики збереження текстурних карт не впливають на їх розмір в середині рушія Unreal Engine.

2. Вплив кількості полігонів на продуктивність сцени, при витратах 16 мс на обробку кадру, є доволі значущим, тому вимагає першочергової уваги при оптимізації сцен.

3. За результатами дослідження отримано залежності навантаження пам'яті від розміру текстурної карти, що також при великих проєктах може стати дуже важливим фактором.



Список використаної літератури

1. Messaoudi F. Performance Analysis of Game Engines on Mobile and Fixed Devices [Електронний ресурс] / F. Messaoudi, A. Ksentini, G. Simon, P. Bertin // ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications 2017. DOI: 10.1145/3115934.
2. Barczak A. Comparative Study on Game Engines [Електронний ресурс] / A. Barczak, H. Woźniak // Siedlce University of Natural Sciences and Humanities Faculty of Exact and Natural Sciences Institute of Computer Science ul. 3 Maja 54, 08-110 Siedlce, Poland, p. 18–22. DOI: 10.34739/si.2019.23.01.
3. Mishra P. Comparison between Famous Game Engines and Eminent Games [Електронний ресурс] / Prerna Mishra, Urmila Shrawankar // Department of Computer Science & Engineering, RTMNU, Nagpur (MS), India, 2016, p. 7. DOI: 10.9781/ijimai.2016.4113.
4. Huang Z. GPU computing performance analysis on matrix multiplication / Zhibin Huang, Ning Ma, Shaojun Wang, Yu Peng // 7th International Symposium on Test Automation and Instrumentation (ISTA 2018), p. 5. DOI: 10.1049/joe.2018.9178.
5. Toftedahl M. A Taxonomy of Game Engines and the Tools that Drive the Industry / M. Toftedahl, H. Engström // Division of Game Development University of Skövde Skövde, Sweden, 2019. Режим доступу: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1352554/FULLTEXT01.pdf>.
6. Performance Guide [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. AMD GPUOpen, 2022. Режим доступу: <https://gpuopen.com/unreal-engine-performance-guide/>.
7. Testing and optimizing your content [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. Unreal Engine, 2021. Режим доступу: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/TestingAndOptimization/>.
8. Разработка игр: Оптимизация игр на Unreal Engine 4 [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] / Хохлов В. 2017 // Режим доступу: <https://www.progamer.ru/dev/ue4-optimization.htm>.
9. Kamiński A. An empirical study of Q&A websites for game developers [Електронний ресурс] / A. Kamiński, C. Bezemer // Empirical Software Engineering. 2021. № 26(6). DOI: 10.1007/s10664-021-10014-4.
10. Foxman M. United We Stand: Platforms, Tools and Innovation with the Unity Game Engine. [Електронний ресурс] / M. Foxman // Social Media + Society, 2019, 5(4). DOI: 10.1177/2056305119880177.

References

1. Messaoudi, F., Ksentini, A., Simon, G., & Bertin, P. (2017). Performance Analysis of Game Engines on Mobile and Fixed Devices. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications*, 12–13, 16. DOI: 10.1145/3115934 [in English].
2. Barczak, A., & Woźniak, H. (2019). *Comparative Study on Game Engines*. Siedlce University of Natural Sciences and Humanities Faculty of Exact and Natural Sciences Institute of Computer Science ul. 3 Maja 54, 08-110 Siedlce, Poland, 18–22. DOI: 10.34739/si.2019.23.01 [in English].
3. Mishra, P., & Shrawankar, U. (2016). *Comparison between Famous Game Engines and Eminent Games*. Department of Computer Science & Engineering, RTMNU, Nagpur (MS), India, 7. DOI: 10.9781/ijimai.2016.4113 [in English].



4. Huang, Z., Ma, N., Wang, S., & Peng, Y. (2018). GPU computing performance analysis on matrix multiplication. *7th International Symposium on Test Automation and Instrumentation*, 5. DOI: 10.1049/joe.2018.9178 [in English].
5. Toftedahl, M., & Engström, H. (2019). *A Taxonomy of Game Engines and the Tools that Drive the Industry*. Division of Game Development University of Skövde Skövde, Sweden. Retrieved from <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1352554/FULLTEXT01.pdf> [in English].
6. (2022). Performance Guide. AMD GPUOpen. Retrieved from <https://gpuopen.com/unreal-engine-performance-guide/> [in English].
7. (2021). Testing and optimizing your content. *Unreal Engine*. Retrieved from <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/TestingAndOptimization/> [in English].
8. Hohlov, V. (2017). *Razrabotka igr: Optimizacija igr na Unreal Engine 4*. Retrieved November 14. Retrieved from <https://www.progamer.ru/dev/ue4-optimization.htm>.
9. Kamienski, A. (2021). An empirical study of Q&A websites for game developers. *Empirical Software Engineering*, 26(6). DOI:10.1007/s10664-021-10014-4 [in English].
10. Foxman, M. (2019). United We Stand: Platforms, Tools and Innovation With the Unity Game Engine. *Social Media + Society*, 5(4). DOI:10.1177/2056305119880177 [in English].

In this respect, the article investigates the dependence of the performance of the scene on the number of polygons and the size of the texture maps of the 3D model. The purpose of this research is to obtain a correlation of the received data on the influence of the parameters of the test sample on the scene in order to formulate practical recommendations for the process of development and optimization of games.

Keywords: 3D models; performance; multimedia product; video game; polycount; texture maps; texture export options; frame rate.

Надійшла до редакції 07.10.22