

Politechnika Warszawska

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI
I TECHNIK INFORMACYJNYCH



Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej

Praca dyplomowa magisterska

na kierunku Informatyka
w specjalności Inteligentne Systemy

Porównanie wydajności i możliwości współczesnych silników gier
komputerowych

inż. Krzysztof Rudnicki

Numer albumu 307585

promotor
dr inż. Michał Chwesiuk

WARSZAWA 2025

Porównanie wydajności i możliwości współczesnych silników gier komputerowych

Streszczenie. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Słowa kluczowe: XXX, XXX, XXX

Comparison of performance and capabilities of modern computer games engines

Abstract. As any dedicated reader can clearly see, the Ideal of practical reason is a representation of, as far as I know, the things in themselves; as I have shown elsewhere, the phenomena should only be used as a canon for our understanding. The paralogisms of practical reason are what first give rise to the architectonic of practical reason. As will easily be shown in the next section, reason would thereby be made to contradict, in view of these considerations, the Ideal of practical reason, yet the manifold depends on the phenomena. Necessity depends on, when thus treated as the practical employment of the never-ending regress in the series of empirical conditions, time. Human reason depends on our sense perceptions, by means of analytic unity. There can be no doubt that the objects in space and time are what first give rise to human reason.

Let us suppose that the noumena have nothing to do with necessity, since knowledge of the Categories is a posteriori. Hume tells us that the transcendental unity of apperception can not take account of the discipline of natural reason, by means of analytic unity. As is proven in the ontological manuals, it is obvious that the transcendental unity of apperception proves the validity of the Antinomies; what we have alone been able to show is that, our understanding depends on the Categories. It remains a mystery why the Ideal stands in need of reason. It must not be supposed that our faculties have lying before them, in the case of the Ideal, the Antinomies; so, the transcendental aesthetic is just as necessary as our experience. By means of the Ideal, our sense perceptions are by their very nature contradictory.

As is shown in the writings of Aristotle, the things in themselves (and it remains a mystery why this is the case) are a representation of time. Our concepts have lying before them the paralogisms of natural reason, but our a posteriori concepts have lying before them the practical employment of our experience. Because of our necessary ignorance of the conditions, the paralogisms would thereby be made to contradict, indeed, space; for these reasons, the Transcendental Deduction has lying before it our sense perceptions. (Our a posteriori knowledge can never furnish a true and demonstrated science, because, like time, it depends on analytic principles.) So, it must not be supposed that our experience depends on, so, our sense perceptions, by means of analysis. Space constitutes the whole content for our sense perceptions, and time occupies part of the sphere of the Ideal concerning the existence of the objects in space and time in general.

Keywords: XXX, XXX, XXX

Spis treści

1. Wstęp	9
1.1. Motywacja i cel pracy	9
1.2. Zakres pracy	9
1.3. Struktura pracy	9
1.4. Metodologia	9
2. Przegląd literatury i istniejących rozwiązań	11
2.1. Historia rozwoju silników gier	11
2.2. Klasyfikacja silników gier	11
2.2.1. Silniki komercyjne vs. open source	11
2.2.2. Silniki specjalistyczne vs. uniwersalne	11
2.3. Aktualny stan badań	11
2.3.1. Badania wydajności	11
2.3.2. Metodologie porównawcze	12
2.3.3. Specjalizowane zastosowania	12
2.3.4. Badania społeczności i ekosystemu	12
2.4. Identyfikacja luk badawczych	12
2.5. Trendy technologiczne	12
3. Charakterystyka współczesnych silników gier	14
3.1. Kryteria wyboru silników do analizy	14
3.2. Unity	14
3.2.1. Architektura i technologie	14
3.2.2. Możliwości i funkcjonalności	14
3.2.3. Narzędzia deweloperskie	14
3.3. Unreal Engine	14
3.3.1. Architektura i technologie	14
3.3.2. Możliwości i funkcjonalności	14
3.3.3. Narzędzia deweloperskie	14
3.4. Godot	14
3.4.1. Architektura i technologie	14
3.4.2. Możliwości i funkcjonalności	14
3.4.3. Narzędzia deweloperskie	14
3.5. Inne analizowane silniki	14
3.6. Porównanie tabelaryczne podstawowych cech	14
4. Metodologia badań i kryteria porównania	15
4.1. Założenia metodologiczne	15
4.1.1. Cel badań	15
4.1.2. Hipotezy badawcze	15
4.2. Kryteria porównania	15
4.2.1. Wydajność	15
4.2.2. Funkcjonalność	15

4.2.3. Użyteczność	15
4.3. Środowisko testowe	16
4.3.1. Specyfikacja sprzętowa	16
4.3.2. Specyfikacja oprogramowania	16
4.4. Projekt testów	16
4.4.1. Scenariusze testowe	16
4.4.2. Metryki i wskaźniki	16
5. Testy wydajności	17
5.1. Metodyka przeprowadzania testów	17
5.1.1. Przygotowanie środowiska testowego	17
5.1.2. Standaryzacja warunków testowych	17
5.2. Test renderowania 2D	17
5.2.1. Założenia testu	17
5.2.2. Wyniki pomiarów	17
5.2.3. Analiza wyników	17
5.3. Test renderowania 3D	17
5.3.1. Scenariusz podstawowy	17
5.3.2. Scenariusz zaawansowany	17
5.3.3. Porównanie wyników	17
5.4. Test systemów fizyki	17
5.4.1. Symulacja kolizji	17
5.4.2. Symulacja płynów i cząstek	17
5.5. Test zużycia zasobów systemowych	17
5.5.1. Zużycie pamięci RAM	17
5.5.2. Obciążenie procesora	17
5.5.3. Zużycie pamięci GPU	17
5.6. Test wydajności na różnych platformach	17
5.6.1. Testy na PC (Windows/Linux)	17
5.6.2. Testy na urządzeniach mobilnych	17
5.7. Podsumowanie wyników testów wydajności	17
6. Analiza możliwości i funkcjonalności	19
6.1. Metodyka oceny funkcjonalności	19
6.1.1. Kryteria oceny	19
6.1.2. Proces walidacji	19
6.2. Analiza możliwości renderingu	19
6.2.1. Wsparcie dla różnych technik renderingu	19
6.2.2. Systemy materiałów i shaderów	19
6.2.3. Systemy oświetlenia	19
6.3. Systemy fizyki i symulacji	19
6.3.1. Rigid body physics	19
6.3.2. Soft body physics	19
6.3.3. Systemy cząstek	19

6.4.	Systemy audio	19
6.4.1.	Wsparcie formatów audio	19
6.4.2.	Przestrzenny dźwięk 3D	19
6.4.3.	Efekty audio i DSP	19
6.5.	Narzędzia deweloperskie	19
6.5.1.	Edytory wizualne	19
6.5.2.	Systemy debugowania	19
6.5.3.	Profilowanie wydajności	19
6.6.	Wsparcie dla platform docelowych	19
6.6.1.	Platformy desktop	19
6.6.2.	Platformy mobilne	19
6.6.3.	Konsole	19
6.6.4.	Platformy VR/AR	19
6.7.	Ekosystem i rozszerzalność	19
6.7.1.	Asset Store / Marketplace	19
6.7.2.	Wsparcie społeczności	19
6.7.3.	Dokumentacja i materiały edukacyjne	19
7.	Porównanie wyników i analiza	20
7.1.	Synteza wyników badań	20
7.1.1.	Zestawienie wyników testów wydajności	20
7.1.2.	Zestawienie analizy funkcjonalności	20
7.2.	Analiza wielokryterialna	20
7.2.1.	Macierz porównawcza	20
7.2.2.	Analiza wag kryteriów	20
7.3.	Przypadki użycia	20
7.3.1.	Gry indie	20
7.3.2.	Gry mobilne	20
7.3.3.	Gry AAA	20
7.3.4.	Gry VR/AR	20
7.4.	Analiza korelacji	20
7.4.1.	Związek między wydajnością a funkcjonalnością	20
7.4.2.	Wpływ złożoności na użyteczność	20
7.5.	Ograniczenia badań	20
7.5.1.	Ograniczenia metodologiczne	20
7.5.2.	Ograniczenia techniczne	20
7.5.3.	Ograniczenia czasowe	20
7.6.	Weryfikacja hipotez badawczych	20
7.7.	Implikacje praktyczne	20
8.	Podsumowanie i wnioski	21
8.1.	Główne wyniki badań	21
8.1.1.	Odpowiedzi na pytania badawcze	21
8.1.2.	Weryfikacja hipotez	21

8.2. Wnioski praktyczne	21
8.2.1. Rekomendacje dla deweloperów	21
8.2.2. Wytyczne dla różnych typów projektów	21
8.3. Wkład naukowy	21
8.3.1. Nowatorskie aspekty badań	21
8.3.2. Znaczenie dla branży	21
8.4. Ograniczenia i przyszłe badania	21
8.4.1. Identyfikacja ograniczeń	21
8.4.2. Propozycje dalszych badań	21
8.4.3. Rozwój metodologii	21
8.5. Refleksje końcowe	21
8.6. Znaczenie wyników w kontekście rozwoju technologii	21
Bibliografia	23
Wykaz symboli i skrótów	24
Spis rysunków	24
Spis tabel	24
Spis załączników	24

1. Wstęp

1.1. Motywacja i cel pracy

Współczesny rynek gier komputerowych charakteryzuje się dynamicznym rozwojem technologicznym i rosnącymi wymaganiami zarówno twórców, jak i graczy. Wybór odpowiedniego silnika gier jest kluczową decyzją, która wpływa na cały proces tworzenia gry, jej wydajność oraz możliwości techniczne.

Celem niniejszej pracy jest kompleksowe porównanie wydajności i możliwości współczesnych silników gier komputerowych, ze szczególnym uwzględnieniem ich wpływu na proces tworzenia gier oraz końcową jakość produktu.

1.2. Zakres pracy

Praca obejmuje analizę następujących aspektów:

- Wydajność renderowania grafiki 2D i 3D
- Możliwości i funkcjonalności oferowane przez różne silniki
- Łatwość użycia i krzywa uczenia się
- Wsparcie dla różnych platform docelowych
- Ekosystem narzędzi i społeczność deweloperska

1.3. Struktura pracy

Praca składa się z następujących rozdziałów:

1.4. Metodologia

W pracy zastosowano metodologię badawczą opartą na analizie porównawczej, testach wydajnościowych oraz studium przypadków rzeczywistych projektów implementowanych w różnych silnikach gier.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris. Reference to image ??.

- Item 1:
 - item 1.1;
 - item 1.2;
- Item 2;
- Item 3.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante.

Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

1. Item 1:

a) item 1.1;

b) item 1.2:

i. item 1.2.1;

ii. item 1.2.2;

c) item 1.3;

2. Item 2;

3. Item 3.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula. Lorem ipsum dolor sit amet¹, consectetur adipiscing elit.

Tabela 1.1. Przykładowa tabela.

Kolumna 1	Kolumna 2	Liczba
cell1	cell2	60
cell4	cell5	43
cell7	cell8	20,45
Suma ²		123,45

Lorem ipsum dolor sit amet.

¹ Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat.

² Table footnote.

2. Przegląd literatury i istniejących rozwiązań

2.1. Historia rozwoju silników gier

Silniki gier ewoluowały znacząco od prostych bibliotek graficznych lat 80. i 90. XX wieku po współczesne, kompleksowe środowiska deweloperskie. Według Ullmann et al. [1], współczesne silniki gier charakteryzują się modułarną architekturą, która umożliwia ponowne wykorzystanie komponentów między różnymi projektami.

Pierwsze silniki gier były ściśle powiązane z konkretnym sprzętem i grami, jak np. silniki do gier id Software (Doom, Quake). Przełomem było wprowadzenie pierwszych uniwersalnych silników, które mogły być adaptowane do różnych rodzajów gier. Dzisiejsze silniki oferują zintegrowane środowiska deweloperskie z edytorami wizualnymi, systemami skryptowymi i zaawansowanymi narzędziami do debugowania.

2.2. Klasyfikacja silników gier

2.2.1. Silniki komercyjne vs. open source

Analiza literatury pokazuje wyraźne różnice między rozwiązaniami komercyjnymi a otwartymi. Christopoulou i Xinogalos [2] wskazują, że silniki komercyjne jak Unity czy Unreal Engine oferują lepsze wsparcie techniczne i dokumentację, podczas gdy rozwiązania open source zapewniają większą elastyczność i kontrolę nad kodem źródłowym.

Sharif i Ameen [3] podkreślają, że wybór między rozwiązaniem komercyjnym a open source zależy głównie od budżetu projektu i wymagań dotyczących dostosowania silnika do specyficznych potrzeb.

2.2.2. Silniki specjalistyczne vs. uniwersalne

Pavkov et al. [4] przedstawiają podział na silniki dedykowane konkretnym gatunkom gier (np. silniki do gier strategicznych czasu rzeczywistego) oraz rozwiązania uniwersalne mogące obsługiwać różnorodne typy gier. Silniki specjalistyczne oferują zoptymalizowane funkcjonalności dla określonego zastosowania, podczas gdy uniwersalne zapewniają większą wszechstronność kosztem specjalizacji.

2.3. Aktualny stan badań

2.3.1. Badania wydajności

Messaoudi et al. [5] przeprowadzili kompleksową analizę wydajności silnika Unity na urządzeniach mobilnych i stacjonarnych, koncentrując się na zużyciu CPU i optymalizacji logiki gry. Ich badania pokazują znaczące różnice w wydajności między platformami mobilnymi a desktop.

Abramowicz i Borczuk [6] porównali wydajność Unity i Unreal Engine w grach 3D, skupiając się na renderowaniu, systemach fizyki i zarządzaniu pamięcią. Wyniki wskazują na przewagę Unreal Engine w renderowaniu zaawansowanej grafiki 3D, podczas gdy Unity wykazuje lepszą wydajność na urządzeniach o ograniczonych zasobach.

2.3.2. Metodologie porównawcze

Pattrasitidecha [7] opracował macierz porównawczą dla silników gier mobilnych 3D, definiując kryteria selekcji i kluczowe aspekty oceny. Ta metodologia została szeroko adoptowana w późniejszych badaniach.

Vohera et al. [8] przedstawili architekturę silników gier i przeprowadzili studium porównawcze Unity, GameMaker, Unreal Engine i CryEngine, koncentrując się na parametrach wydajności, funkcjonalności i łatwości użycia.

2.3.3. Specjalizowane zastosowania

Marks et al. [9] oceniali silniki gier pod kątem zastosowań w symulacjach medycznych i szkoleniach klinicznych, wprowadzając specyficzne kryteria oceny dla aplikacji edukacyjnych.

Ali i Usman [10] opracowali framework do selekcji silników gier dla zastosowań w gamifikacji i serious games, uwzględniając specyficzne wymagania tych dziedzin.

2.3.4. Badania społeczności i ekosystemu

Barczak i Woźniak [11] przeprowadzili kompleksowe studium porównawcze silników gier, analizując nie tylko aspekty techniczne, ale również dostępność zasobów edukacyjnych, aktywność społeczności i długoterminowe wsparcie.

2.4. Identyfikacja luk badawczych

Analiza dostępnej literatury ujawnia kilka istotnych luk badawczych:

1. **Brak kompleksowych badań wielokryterialnych** - większość istniejących prac koncentruje się na pojedynczych aspektach (wydajność, funkcjonalność) bez holistycznego podejścia
2. **Ograniczone badania długoterminowe** - brakuje analiz wpływu aktualizacji silników na stabilność i wydajność projektów
3. **Niewystarczające dane o współczesnych silnikach** - wiele badań koncentruje się na starszych wersjach silników, nie uwzględniając najnowszych możliwości
4. **Brak standaryzacji metodologii** - różne badania stosują odmienne kryteria oceny, co utrudnia porównanie wyników
5. **Ograniczone badania cross-platform** - niewiele prac analizuje wydajność silników na różnych platformach docelowych w sposób systematyczny

Niniejsza praca ma na celu wypełnienie tych luk poprzez przeprowadzenie kompleksowej analizy porównawczej współczesnych silników gier z zastosowaniem ustandaryzowanej metodologii i wielokryterialnego podejścia do oceny.

2.5. Trendy technologiczne

Ostatnie badania wskazują na rosnące znaczenie technologii ray tracing, sztucznej inteligencji w grach oraz wsparcia dla rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej. Masood et

al. [12] analizują wykorzystanie silników gier do wysokowydajnego renderowania terenu GPU, pokazując nowe kierunki rozwoju technologii renderowania.

Badania Firat et al. [13] dotyczące przestrzennego dźwięku 3D w silnikach gier wskazują na rosnące znaczenie immersyjnych doświadczeń audio jako czynnika różnicującego poszczególne rozwiązania.

3. Charakterystyka współczesnych silników gier

3.1. Kryteria wyboru silników do analizy

W ramach niniejszej pracy wybrano reprezentatywne silniki gier reprezentujące różne segmenty rynku:

- Popularność i rozpowszechnienie
- Różnorodność technologiczna
- Wsparcie dla różnych platform
- Dostępność dokumentacji i narzędzi

3.2. Unity

3.2.1. Architektura i technologie

3.2.2. Możliwości i funkcjonalności

3.2.3. Narzędzia deweloperskie

3.3. Unreal Engine

3.3.1. Architektura i technologie

3.3.2. Możliwości i funkcjonalności

3.3.3. Narzędzia deweloperskie

3.4. Godot

3.4.1. Architektura i technologie

3.4.2. Możliwości i funkcjonalności

3.4.3. Narzędzia deweloperskie

3.5. Inne analizowane silniki

3.6. Porównanie tabelaryczne podstawowych cech

4. Metodologia badań i kryteria porównania

4.1. Założenia metodologiczne

4.1.1. Cel badań

Głównym celem badań jest obiektywne porównanie wydajności i możliwości wybranych silników gier w kontrolowanych warunkach.

4.1.2. Hipotezy badawcze

1. Silniki komercyjne oferują lepszą wydajność niż rozwiązania open source
2. Kompleksowość funkcjonalności wpływa negatywnie na wydajność
3. Łatwość użycia jest odwrotnie proporcjonalna do możliwości konfiguracji

4.2. Kryteria porównania

4.2.1. Wydajność

- Szybkość renderowania (FPS)
- Zużycie pamięci RAM
- Obciążenie procesora
- Zużycie pamięci karty graficznej
- Czas ładowania scen

4.2.2. Funkcjonalność

- Wsparcie dla różnych typów renderingu
- Systemy fizyki
- Systemy audio
- Wsparcie dla VR/AR
- Możliwości skryptowania

4.2.3. Użyteczność

- Intuicyjność interfejsu
- Jakość dokumentacji
- Dostępność tutoriali
- Wsparcie społeczności
- Czas potrzebny na naukę

4. Metodologia badań i kryteria porównania

4.3. Środowisko testowe

4.3.1. Specyfikacja sprzętowa

4.3.2. Specyfikacja oprogramowania

4.4. Projekt testów

4.4.1. Scenariusze testowe

4.4.2. Metryki i wskaźniki

5. Testy wydajności

5.1. Metodyka przeprowadzania testów

5.1.1. Przygotowanie środowiska testowego

5.1.2. Standaryzacja warunków testowych

5.2. Test renderowania 2D

5.2.1. Założenia testu

5.2.2. Wyniki pomiarów

5.2.3. Analiza wyników

5.3. Test renderowania 3D

5.3.1. Scenariusz podstawowy

5.3.2. Scenariusz zaawansowany

5.3.3. Porównanie wyników

5.4. Test systemów fizyki

5.4.1. Symulacja kolizji

5.4.2. Symulacja płynów i cząstek

5.5. Test zużycia zasobów systemowych

5.5.1. Zużycie pamięci RAM

5.5.2. Obciążenie procesora

5.5.3. Zużycie pamięci GPU

5.6. Test wydajności na różnych platformach

5.6.1. Testy na PC (Windows/Linux)

5.6.2. Testy na urządzeniach mobilnych

5.7. Podsumowanie wyników testów wydajności

6. Analiza możliwości i funkcjonalności

6.1. Metodyka oceny funkcjonalności

6.1.1. Kryteria oceny

6.1.2. Proces walidacji

6.2. Analiza możliwości renderingu

6.2.1. Wsparcie dla różnych technik renderingu

6.2.2. Systemy materiałów i shaderów

6.2.3. Systemy oświetlenia

6.3. Systemy fizyki i symulacji

6.3.1. Rigid body physics

6.3.2. Soft body physics

6.3.3. Systemy cząstek

6.4. Systemy audio

6.4.1. Wsparcie formatów audio

6.4.2. Przestrzenny dźwięk 3D

6.4.3. Efekty audio i DSP

6.5. Narzędzia deweloperskie

6.5.1. Edytory wizualne

6.5.2. Systemy debugowania

6.5.3. Profilowanie wydajności

6.6. Wsparcie dla platform docelowych

6.6.1. Platformy desktop

6.6.2. Platformy mobilne

6.6.3. Konsole

6.6.4. Platformy VR/AR

6.7. Ekosystem i rozszerzalność

6.7.1. Asset Store / Marketplace

6.7.2. Wsparcie społeczności

6.7.3. Dokumentacja i materiały edukacyjne

7. Porównanie wyników i analiza

7.1. Synteza wyników badań

7.1.1. Zestawienie wyników testów wydajności

7.1.2. Zestawienie analizy funkcjonalności

7.2. Analiza wielokryterialna

7.2.1. Macierz porównawcza

7.2.2. Analiza wag kryteriów

7.3. Przypadki użycia

7.3.1. Gry indie

7.3.2. Gry mobilne

7.3.3. Gry AAA

7.3.4. Gry VR/AR

7.4. Analiza korelacji

7.4.1. Związek między wydajnością a funkcjonalnością

7.4.2. Wpływ złożoności na użyteczność

7.5. Ograniczenia badań

7.5.1. Ograniczenia metodologiczne

7.5.2. Ograniczenia techniczne

7.5.3. Ograniczenia czasowe

7.6. Weryfikacja hipotez badawczych

7.7. Implikacje praktyczne

8. Podsumowanie i wnioski

8.1. Główne wyniki badań

8.1.1. Odpowiedzi na pytania badawcze

8.1.2. Weryfikacja hipotez

8.2. Wnioski praktyczne

8.2.1. Rekomendacje dla deweloperów

8.2.2. Wytyczne dla różnych typów projektów

8.3. Wkład naukowy

8.3.1. Nowatorskie aspekty badań

8.3.2. Znaczenie dla branży

8.4. Ograniczenia i przyszłe badania

8.4.1. Identyfikacja ograniczeń

8.4.2. Propozycje dalszych badań

8.4.3. Rozwój metodologii

8.5. Refleksje końcowe

8.6. Znaczenie wyników w kontekście rozwoju technologii

Bibliografia

- [1] G. C. Ullmann, C. Politowski, Y.-G. Guéhéneuc i N. Anquetil, „Game engine comparative anatomy”, *International Conference on Software Architecture*, s. 117–136, 2022.
- [2] E. Christopoulou i S. Xinogalos, „Overview and comparative analysis of game engines for desktop and mobile devices”, *International Journal of Serious Games*, t. 4, nr. 4, s. 21–36, 2017.
- [3] K. H. Sharif i S. Y. Ameen, „Game engines evaluation for serious game development in education”, w *2021 International Conference on Advanced Computer Applications*, IEEE, 2021, s. 1–6.
- [4] S. Pavkov, I. Franković i M. Hobljaj, „Comparison of game engines for serious games”, w *2017 40th International Convention on Information and Communication Technology*, IEEE, 2017, s. 728–733.
- [5] F. Messaoudi, A. Ksentini i G. Simon, „Performance analysis of game engines on mobile and fixed devices”, *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, t. 13, nr. 4, s. 1–24, 2017.
- [6] K. Abramowicz i P. Borczuk, „Comparative analysis of the performance of Unity and Unreal Engine game engines in 3D games”, *Journal of Computer Science Institute*, t. 30, s. 1–8, 2024.
- [7] A. Patrasitidecha, „Comparison and evaluation of 3D mobile game engines”, Master’s thesis, Chalmers University of Technology, 2014.
- [8] C. Vohera, H. Chheda i D. Chouhan, „Game engine architecture and comparative study of different game engines”, w *2021 12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies*, IEEE, 2021, s. 1–7.
- [9] S. Marks, J. Windsor i B. Wünsche, „Evaluation of game engines for simulated clinical training”, w *New Zealand Computer Science Research Student Conference*, 2008, s. 25–30.
- [10] Z. Ali i M. Usman, „A framework for game engine selection for gamification and serious games”, w *2016 Future Technologies Conference*, IEEE, 2016, s. 1–8.
- [11] A. Barczak i H. Woźniak, „Comparative study on game engines”, *Studia Informatica. System and Information Technology*, t. 23, nr. 1, s. 5–18, 2019.
- [12] Z. Masood, Z. Jiangbin, M. Irfan i I. Ahmad, „High-performance virtual globe GPU terrain rendering using game engine”, *Computer Animation and Virtual Worlds*, t. 33, nr. 6, e2108, 2022.
- [13] H. B. Firat, L. Maffei i M. Masullo, „3D sound spatialization with game engines: the virtual acoustics performance of a game engine and a middleware for interactive audio design”, *Virtual Reality*, t. 26, nr. 3, s. 1181–1195, 2022.

Wykaz symboli i skrótów

EiTI – Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

PW – Politechnika Warszawska

WEIRD – ang. *Western, Educated, Industrialized, Rich and Democratic*

Spis rysunków

Spis tabel

1.1 Przykładowa tabela.	10
---------------------------------	----

Spis załączników

1. Nazwa załącznika 1	25
2. Nazwa załącznika 2	27

Załącznik 1. Nazwa załącznika 1

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa. Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel

Politechnika Warszawska

Rysunek 1.1. Obrazek w załączniku.

justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Załącznik 2. Nazwa załącznika 2

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris. Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at,

Tabela 2.1. Tabela w załączniku.

Kolumna 1	Kolumna 2	Liczba
cell1	cell2	60
Suma:		123,45

tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.