**Міністерство освіти і науки України**

**Національний технічний університет**

**«Дніпровська політехніка»**

|  |
| --- |
| Інститут електроенергетики |
| (інститут) |

|  |
| --- |
| Факультет інформаційних технологій |
| (факультет) |

|  |  |
| --- | --- |
| **Кафедра** | Програмного забезпечення комп’ютерних систем |
|  | (повна назва) |

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**кваліфікаційної роботи ступеня**

|  |
| --- |
| *бакалавра* |

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **студента** | | *Бондаря Андрія Павловича* | |
|  | | (ПІБ) | |
| **академічної групи** | | | *122-17-3* |
|  | | | (шифр) |
| **напряму підготовки** | | | *122 Комп’ютерні науки* |
|  | | | (код і назва напряму підготовки) |
| **на тему:** | *Розробка ігрового додатку для адаптації дій гравця* | | |
| *з використанням бібліотек RayLib v3.5, OpenMP 2.0 на мові C++.* | | | |
|  | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Керівники** | **Прізвище, ініціали** | **Оцінка за шкалою** | | **Підпис** |
| **рейтинговою** | **інституційною** |
| кваліфікаційної роботи | *ПІБ* |  |  |  |
| **розділів:** |  |  |  |  |
| спеціальний | *ПІБ* |  |  |  |
| економічний | *Касьяненко Л.В.* |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **Рецензент** |  |  |  |  |
| **Нормоконтролер** | *Гуліна І.Г.* |  |  |  |

**Дніпро**

**2021**

**Міністерство освіти і науки України**

**НТУ «Дніпровська політехніка»**

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

Завідувач кафедри

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| програмного забезпечення комп’ютерних систем | | | | | | | | |
| (повна назва) | | | | | | | | |
|  | | |  | І.М. Удовик | | | | |
| (підпис) | | |  | (прізвище, ініціали) | | | | |
| « » |  |  | | | 20 |  | року |

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект**

|  |
| --- |
| *бакалавра* |

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| студенту | *122-17-3* |  | *Бондару Андрію Павловичу* | | | | | | |
| (група) | | | | (прізвище та ініціали) | | | | |
| **Тема дипломного проекту** | | | | | *Розробка ігрового додатку для адаптації* | | | | | | |
| *дій гравця з використанням бібліотек RayLib v3.5, OpenMP 2.0 на мові C++* | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | |
| затверджена наказом ректора ДВНЗ «НГУ» від | | | | | | *. .2021 р.* | № | *-л* | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Розділ** | **Зміст виконання** | **Термін виконання** |
| ***Спеціальний*** | ***На основі матеріалів виробничої практики та інших науково-технічних джерел провести аналіз стану рішення проблеми та постановку задачі.***  ***Обґрунтувати вибір та здійснити реалізацію методів вирішення проблеми*** | ***12.05.2021 р.*** |
| ***Економічний*** | ***Провести розрахунок трудомісткості розробки програмного забезпечення, витрат на створення ПО й тривалості його розробки*** | ***26.05.2021 р.*** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Завдання видав | |  | | | |  | | *ПІБ* |
|  | (підпис) | | | |  | | (посада, прізвище, ініціали) | |
| Завдання прийняв до виконання | | |  |  | | | *Бондар А.П.* | |
|  | | | (підпис) | |  | | (прізвище, ініціали) | |

Дата видачі завдання:  *. .2021 р.*

Термін подання дипломного проекту до ДЕК ***\_ \_. .2021 р.\_\_***

**РЕФЕРАТ**

Пояснювальна записка: \_\_\_ с., \_\_\_ рис., \_\_\_ табл., \_\_ дод., \_\_\_ джерел.

Об'єкт розробки: ігровий додаток-стратегія з використанням машинного навчання.

Мета дипломного проекту: створення ігрового додатку зі штучним інтелектом що зможе адаптуватися під довільну ігрову ситуацію та допоможе розвинути стратегічне мислення гравця.

У вступі розглядається аналіз та сучасний стан проблеми, конкретизується мета кваліфікаційної роботи та галузь її застосування, наведено обґрунтування актуальності теми та уточнюється постановка завдання.

У першому розділі проаналізовано предметну галузь, визначено актуальність завдання та призначення розробки, сформульовано постановку завдання, зазначено вимоги до програмної реалізації, технологій та програмних засобів.

У другому розділі проаналізовані наявні рішення, обрано платформи для розробки, виконано проектування і розробка програми, описана робота програми, алгоритм і структура її функціонування, а також виклик та завантаження програми, визначено вхідні і вихідні дані, охарактеризовано склад параметрів технічних засобів. **ПОПРАВИТЬ ПОТОМ???**

В економічному розділі визначено трудомісткість розробленої інформаційної системи, проведений підрахунок вартості роботи по створенню програми та розраховано час на його створення.

Практичне значення полягає у створенні програмного додатка, що надає можливість покращити стратегічні та тактичні навички.

Актуальність інформаційної системи визначається збільшеною тенденцією на розробки з використанням машинного навчання, що оптимізують дії щодо адаптації до довільних ситуацій да демонструють можливості та гнучкість алгоритмів.

Список ключових слів: ІГРОВИЙ ДОДАТОК, КОМП’ЮТЕР, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, ПЕРСЕПТРОН, АЛГОРИТМ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ПРОЦЕДУРНА ГЕНЕРАЦІЯ.

**(ДОБАВИТЬ ПЕРЕВОД НА ИНГЛИШ)**

**ЗМІСТ**

РЕФЕРАТ…………………………………………………………………………….

ABSTRACT………………………………………………………………………….

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ……………………………………………...

ВСТУП……………………………………………………………………………….

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

* 1. Загальні відомості з предметної галузі…………………………………
  2. Призначення розробки та галузь застосування………………………..
  3. Підстава для розробки…………………………………………………..
  4. Постановка завдання……………………………………………………….
  5. Вимоги до програми або програмного виробу………………………….
     1. Вимоги до функціональних характеристик………………………………
     2. Вимоги до інформаційної безпеки…………………………………………
     3. Вимоги до складу та параметрів технічних засобів……………………….
     4. Вимоги до інформаційної та програмної сумісності ……………………

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ..

* 1. Функціональне призначення системи……………………………………..
  2. Опис застосованих математичних методів………………………………
  3. Опис використаних технологій та мов програмування…………………
  4. Опис структури системи та алгоритмів її функціонування ……………….
  5. Обґрунтування та організація вхідних та вихідних даних програми….
  6. Опис розробленої системи .............…………………………………………
     1. Використані технічні засоби…….………………………………………….
     2. Використані програмні засоби……………………………………………..
     3. Виклик та завантаження програми…………………………………………
     4. Опис інтерфейсу користувача………………………………………………

РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ………………………………………………

* 1. Розрахунок трудомісткості та вартості розробки програмного продукту.
  2. Рахунок витрат на створення програми……………………………………

ВИСНОВКИ…………………………………………………………………………..

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…………………………………………….

Додаток А. Код програми……………………………….…………………………..

Додаток Б. Відгук керівника економічного розділу……………………………….

Додаток В. Перелік файлів на диску……………………………………………….

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

ООП – об’єктно-орієнтоване програмування;

ШІ – штучний інтелект;

API – прикладний програмний інтерфейс;

ПК – персональний комп’ютер;

ПЗ – програмне забезпечення;

IDE – інтегроване середовище розробки

**(ДОБАВИТЬ ВСТУП)**

**РОЗДІЛ 1**

**АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ**

* 1. **Загальні відомості з предметної галузі**

Комп`ютерні ігри міцно закріпили за собою звання відмінного засобу не тільки відпочинку, але і навчання. Вони здатні сформувати у гравця принципи мислення для вирішення поставлених завдань, які потім можливо застосувати для вирішення реальних проблем, і все це - в доступній, ігровій формі, за якої за виконання завдань гравець отримує задоволення, що закріплює отриманий досвід.

Один з жанрів комп’ютерних ігор, що дає творчу свободу та широкий набір інструментів для реалізації власних ідей – Sandbox, («пісочниця» у перекладі). Яскраві представники цього жанру:

* Minecraft (з англ. «шахтарське ремесло») – пісочниця з виглядом від першої/третьої особи. Гравець отримує у своє розпорядження трьохмірний відкритий, процедурно-генерований світ, що повністю складається з кубічних «блоків», які можна видобути та створювати власні структури у світі, або перетворити на блоки іншого типу. Можливість змінити гру за допомогою модифікацій розширюють її ще більше.



Рис. 1.1. Ігровий процес Minecraft

* Factorio – пісочниця, що виконана в жанрі ізометричного економічного симулятора з елементами стратегії. Основою ігрового процесу є створення великих виробничих ланцюжків і повсюдна автоматизація – персонаж гравця хоч і може виробляти необхідні компоненти та пристрої самостійно, але швидкість його виробництва не йде ні в яке порівняння з виробничими можливостями налагодженої фабрики. Забруднення, яке розповсюджується фабрикою, турбує мешканців планети – вигаданих членистоногих істот, та змушує збиратися в групи і нападати на джерело забруднення.



Рис. 1.2. Ігровий процес Factorio

Стратегія, як жанр ігор, існував задовго до створення перших комп’ютерів. Яскравий приклад – шахи, абстрактна стратегічна покрокова гра. Стратегії у реальному часі (RTS) відрізняються від покрокових тим, що події у них розвиваються одночасно, що вимагає від гравців швидкої реакції та стратегічного мислення.



Рис. 1.3. Ігровий процес StarCraft 2

RTS зазвичай відтворюють військові дії та розбудову військових баз для здобуття перемоги над противником, мають специфічний інтерфейс. Їм притаманні численні ігрові умовності, такі як врівноваження можливостей протиборчих сторін, нереалістично короткі терміни проведення боїв і будівництва, видобування абстрактних ресурсів що потребуються для створення бойових одиниць та будівель.



Рис. 1.4. Ігровий процес Supreme Commander

У більшості стратегій гра проходить як протистояння двох або більше сторін. Гравці-люди не завжди можуть скласти компанію в грі, через особливості механіки гри або з інших причин. Для подібних випадків передбачено заміщення реального гравця комп'ютерним, ШІ-суперником.

Ігровий ШІ в основному займається вибором дій в залежності від поточних умов. У традиційній літературі по ШІ це називається "інтелектуальними агентами". Агентом зазвичай є персонаж гри, але це може бути і машина, робот або навіть щось більш абстрактне - ціла група сутностей, країна або цивілізація. У будь-якому випадку це об'єкт, що стежить за своїм оточенням, що приймає на підставі нього рішення і діє відповідно до цих рішень.

Задачі ШІ реального світу, особливо ті що є актуальними сьогодні, зазвичай зосереджені на «сприйнятті». Наприклад, безпілотні автомобілі повинні отримувати зображення знаходиться перед ними дороги, комбінуючи їх з іншими даними (радара й лідара) та намагаючись інтерпретувати те, що вони бачать. Зазвичай це завдання вирішується машинним навчанням, яке особливо добре працює з великими масивами зашумлених даних реального світу (наприклад з фотографіями дороги перед автомобілем або декількома кадрами відео) і надає їм якесь значення, отримуючи семантичну інформацію, наприклад «через 10 метрів переді мною є ще одна машина».

Ігри відрізняються тим, що для вилучення інформації їм не потрібна окрема система, оскільки вона є невід'ємною частиною симуляції. Немає необхідності виконувати алгоритми розпізнавання зображень, щоб виявити ворога перед собою: гра знає, що там є супротивник і може передати цю інформацію безпосередньо процесу прийняття рішень.

Зазвичай передбачається, що гра повинна розважати і кидати гравцеві виклик, а не бути «оптимальною» – тому навіть якщо і можна навчити агентів протистояти гравцям найкращим чином, то найчастіше гейм дизайнерам потрібно від них зовсім іншого. Яскравим прикладом цього принципу є ігри жанру шутер, де рефлекси навіть професійних геймерів-людей ледве зможуть протистояти ботам-«шахраям», що заздалегідь знають де знаходиться опонент та ціляться з точністю, недосяжною для людей.

Розробники мають великий арсенал інструментів, щоб зробити дії ІШІ більш схожими на людські, без необхідності повністю копіювати людську поведінку. Для жанру стратегій це можуть бути спеціальні маркери (AI markers) на ігровій мапі, за допомогою яких ШІ може направляти свої юніти, жорстко прописані скрипти опису дій, що необхідно виконати, або ж трохи «шахрайства», як-то видача додаткових ігрових ресурсів або відсутність туману війни (область що приховує юніти супротивника та потребує розвідки) для «зору» ШІ.



Рис. 1.5. Графи маршрутів юнітів (AI markers) для мапи гри Supreme Commander

**1.2. Призначення розробки та галузь застосування.**

Розробка ігрового додатку «Стратегія у реальному часі з використанням машинного навчання для адаптації до дій гравця».

Основні терміни та ключові слова:

Машинне навчання – підгалузь штучного інтелекту в галузі інформатики, яка застосовується для надання комп'ютерам здатності «навчатися», покращуючи свою продуктивність у певній задачі з поточних даних, замість того, щоби бути програмованими явно.

Штучний інтелект – здатність системи здобувати, обробляти та застосовувати знання та вміння подібно до того, як це виконує людина.

**1.3. Підстави для розробки.**

Згідно наказу ректора Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» № \_\_\_\_ від \_\_.\_\_ 2021 р.

**1.4. Постановка завдання.**

Мета завдання – розробити стратегію у реальному часі, що розрахована на одного користувача, та буде адаптуватися під дії гравця. Для цього програма має використовуючи алгоритми машинного навчання, такі як штучні нейронні мережі та пошук оптимального шляху з врахуванням вагів.

Ландшафт ігрової мапи має створюватися процедурною генерацією на основі шуму Перліна.

Пошук шляху юнітів ШІ-супротивника має базуватися на цільовому векторному полю, що генерується з врахуванням типу ландшафту та співвідношенням отриманої та нанесеної шкоди у обчислювальних тайлах.

Економічна складова стратегії має залежати від кількості тайлів (клітин мапи ігрового поля), що захоплено гравцем та його супротивником. Захоплення тайлів має відбуватися поступово, шляхом створення допоміжних юнітів-будівель.

Області мапи, що ще не розвідані юнітами, мають бути покриті «туманом війни» та підлягают розвідці як зі сторони гравця, так і зі сторони ШІ-супротивника.

Розподілення видобутих ресурсів супротивника на створення нових юнітів має здійснюватися ШІ-агентом на основі штучних нейронних мереж, що мусить самостійно навчатись згідно з поточними обставинами та результуючою ефективністю своїх юнітів.

Розроблений ігровий додаток спрямований на розвиток стратегічного мислення у гравця, шляхом пошуку оптимальної стратегій та адаптації до мінливої ситуації.

**1.5. Вимоги до програми або програмного виробу**

**1.5.1. Вимоги до функціональних характеристик.**

Процес введення даних та команд до програми проводиться за допомогою клавіатури та миші. Результуючі значення, що розраховані на основі введених користувачем даних, мають бути приведені до діапазону можливих значень: як-то, користувач не може створити юніта за межами ігрового поля.

Цикл обчислення положень та атрибутів об’єктів також має враховувати ці діапазони. Наприклад, юніти не можуть вийти за межі ігрового поля, а більшість атрибутів не можуть дорівнювати від’ємному значенню.

Виведення даних проводиться у графічному вигляді за допомогою монітору комп’ютера.

**1.5.2. Вимоги до інформаційної безпеки.**

Програма у фінальному вигляді скомпільована та не потребує зв’язку з мережею Інтернет, тому додаткових вимог до безпеки не потребує. Супутні файли (DLL-бібліотеки, файли графічних ресурсів тощо) мають зберігати своє положення відносно виконуваного файлу програми задля уникнення можливих несправностей програми.

**1.5.3. Вимоги до складу та параметрів технічних засобів**

Для користувача є важливим мати систему з відеокартою, що сумісна з OpenGL версії 3.3 або вище. Операційною системою має бути Windows 10 версії 64 bit. Мінімально можлива комплектація ЕОМ:

* CPU: сімейства Intel Celeron;
* GPU: 3D адаптер Nvidia, Intel HD або AMD/ATI;
* RAM: 2048 МБ.
* VRAM (відеопам’ять): 128 МБ;
* Вільне місце на накопичувачі: 128 МБ;

**1.5.4. Вимоги до інформаційної та програмної сумісності.**

Програма має бути реалізована на мові C++ за допомогою IDE Visual Studio 2019. Допоміжні бібліотеки, використані для розробки:

* RayLib v3.5, безкоштовна бібліотека на мові C з вільним вихідним кодом, що спрямована на допомогу у створені відеоігр.
* OpenMP 2.0, відкритий стандарт та бібліотека для створення застосунків з використанням паралельних обчислень.

**РОЗДІЛ 2.**

**ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ**

**2.1. Функціональне призначення системи**

Результатом даної кваліфікаційної роботи має бути ігровий застосунок сумісний з десктопними пристроями. Функціональним призначенням готового додатку є демонстрація можливостей використання машинного навчання у створенні ігрових застосунків зі стратегічною складовою для розвитку мислення гравця.

**2.2. Опис застосованих математичних методів**

(Расписать использованные геом. формулы)

Функції оновлення стану юнітів застосовують формули Евклідової відстані (2.1) для пошуку найближчої доступної цілі з наявних.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1) |

де – відстань між точками *p* та *q.*

Ландшафт ігрової мапи процедурно генерується за допомогою шуму Перліна, що є математичним алгоритмом з генерування процедурної текстури псевдо-випадковим методом (рис 2.2.1).

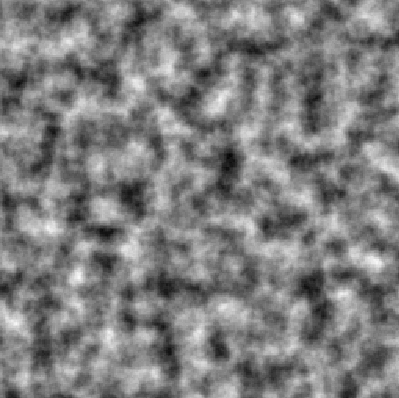


Рис. 2.2.1 Приклад згенерованої чорно-білої текстури карти висот

Юніти, підконтрольні ШІ, рухаються у напрямі, що задається векторним полем, специфічним для кожного типа юнітів. Векторне поле, у свою чергу, генерується залежно від положення головної споруди гравця (знищення якої означає для нього поразку), прохідності ландшафту, стан розвідки, вплив типу ландшафта на швидкість юніта, а також минулих успішних та невдалих бойових дії супроти юнітів гравця.

Ігровий додаток також використовує штучну нейронну мережу на основі персептрона, що приймає на вхідне значення процентне співвідношення знайдених ШІ бойових юнітів гравця, та видає співвідношення юнітів, що будуть створені ШІ. Для кожного типу юнітів ШІ-супротивника зберігаються статистичні дані, такі як отримані та завдані втрати у боях, що дозволяє кожний умовний ігровий цикл вираховувати бойову ефективність окремих типів юнітів. Ці дані персептрон застосовує для зворотного поширення помилки, задля корекції та оптимізації вихідних значень.

**2.3. Опис використаних технологій та мов програмування**

Даний ігровий додаток був розроблений з використанням таких технологій:

* C++
* RayLib 3.5
* OpenMP 2.0
* siv::PerlinNoise
* STL

C++ – об’єктно-орієнтована мова програмування зі статичною типізацією.

C++ базується на ідеї забезпечення як безпосередньої відповідності вбудованих операцій і типів апаратних засобів для забезпечення ефективного використання пам'яті та ефективних низькорівневих операцій, так і доступних та гнучких механізмів абстракції для забезпечення типів, що визначаються користувачем, з однаковою підтримкою нотацій, спектром використання та продуктивністю порівнянною зі вбудованими типами. З роками застосування цих простих ідеалів призвело до більш загального, ефективного та гнучкого набору засобів. Результат підтримує синтез стилів програмування, які можуть бути одночасно ефективними та елегантними. Дизайн С ++ був зосереджений на техніках програмування, що займаються такими основними поняттями, як пам'ять, мінливість, абстракція, управління ресурсами, вираження алгоритмів, пошук помилок та модульність. Це найважливіші проблеми системного програміста і в цілому програмістів високопродуктивних та обмежених у ресурсах систем.

[**ДОБАВИТЬ НОМЕР ССЫЛКИ НА КНИГУ**]

RayLib – кросс-платформенна бібліотека з відкритим вихідним кодом, що спрямована на полегшення розробки ігрових додатків, написана на мові C. Бібліотека має модульну структуру (рис 2.3.1.), кожен з модулів самодостатньо організований відповідно до свого призначення, що дозволяє уникнути створення небажаної рекурсивної залежності, що зазвичай притаманна бібліотекам, написаним на C.

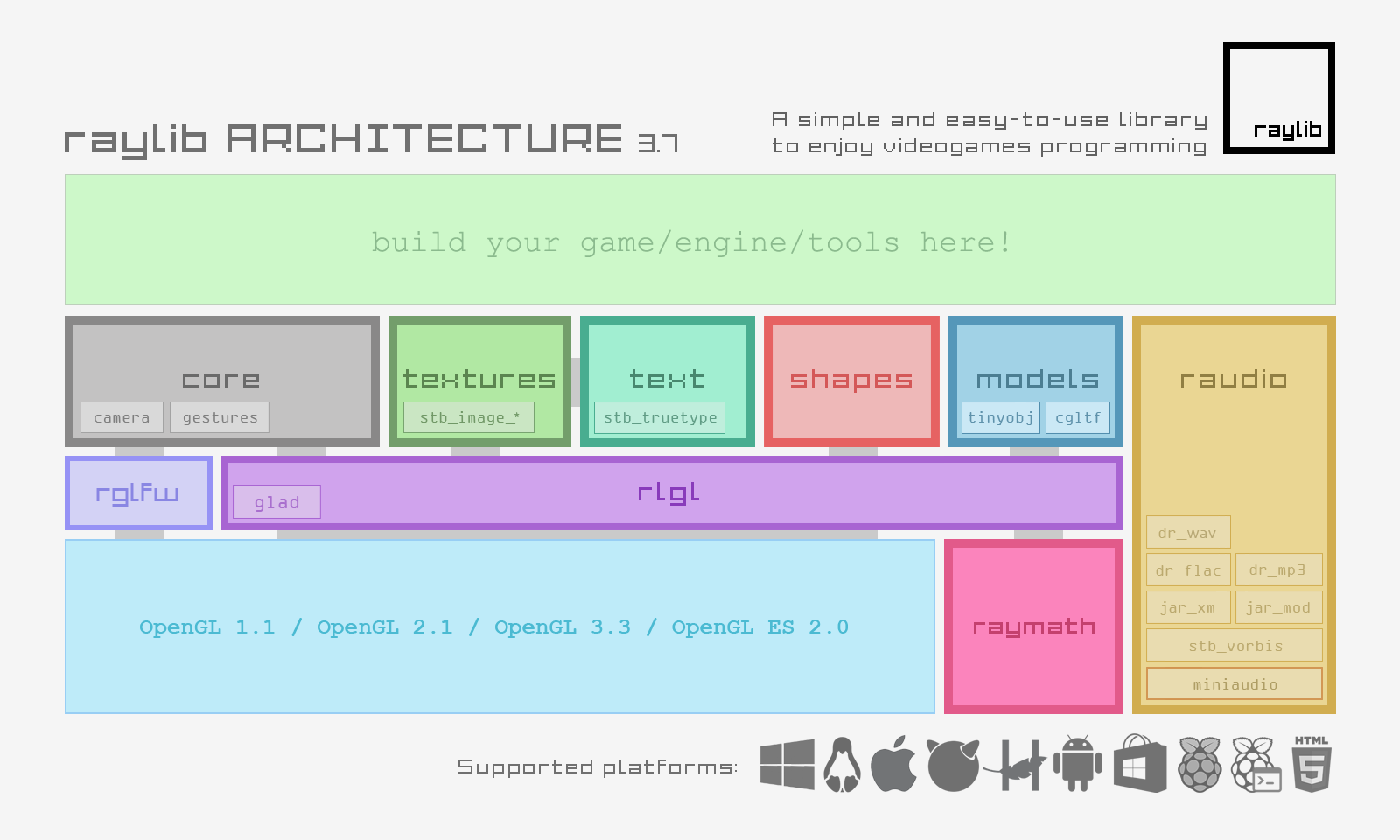


Рис 2.3.1. Архітектура бібліотеки RayLib

RayLib складається з семи основних модулів:

* core, управління вікном, графічним контекстом OpenGL та введенням команд;
* rlgl, обгортка-API над OpenGL;
* shapes, функції візуалізація двомірних примітивів;
* textures, завантаження та управління текстурами та зображеннями;
* text, завантаження шрифтів та візуалізація тексту;
* models, завантаження та візуалізація тривимірних моделей;
* raudio, управління аудіопристроями та завантаження звуків.

Ці сім модулів мають спільний заголовок, який називається raylib.h. Усі функції API визначені в цьому заголовку, незважаючи на те, що вони внутрішньо розділені на сім модулів, тому користувачеві потрібно лише включити raylib.h, щоб отримати доступ до всіх функцій raylib. Інші бібліотеки часто використовують заголовок для кожного модуля (тому користувачі можуть вибрати ті, які їм потрібні), але це ускладнює залежності. Це простий підхід, який робить raylib легшим для початківців та досвідчених користувачів.

Крім основних модулів, бібліотека містить також допоміжні модулі:

* raymath, функції обчислень векторів, матриць та кватерніонів.
* camera, система тривимірної камери, що може працювати у режимах: вільному, від першої особи, від третьої особи та розширеному.
* gestures, проста система IMGUI (Immediate Mode GUI) з декількома елементами управління.
* physac, двовимірна фізична бібліотека з функціями для обчислення процесів зіткнень, розширення, динаміки тощо.

RayLib доступний для використання на великій кількості мов програмування, у тому числі: C, C++, C#, D, Go, Rust, Lua, Python, Java та інші. [**ВСТАВИТЬ ССЫЛКУ НА СПИСОК ЯЗЫКОВ**]

OpenMP 2.0 –

[**ВСТАВИТЬ ССЫЛКУ НА ВИКИ РЕЙЛИБА**]

**2.4. Опис структури системи та алгоритмів її функціонування**

**2.5. Обґрунтування та організація вхідних та вихідних даних програми**

**2.6. Опис розробленої системи**

**2.6.1. Використані технічні засоби**

**2.6.2. Використані програмні засоби**

Для розробки та компіляції вихідних кодів використовувалась IDE Microsoft Visual Studio 2019 Community – безкоштовне середовище розробки з підтримкою великої кількості мов програмування та технологій.

**2.6.3. Виклик та завантаження програми**

**2.6.4. Опис інтерфейсу користувача**

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

**(ДОБАВИТЬ ССЫЛКИ ДЛЯ ПЕРВОГО РАЗДЕЛА ИЗ ВИКИ)**

Шум Перлина URL: <https://habr.com/ru/post/342906/>

Bjarne Stroustrup. The C++ Programming Language, 4th Edition. Addison–Wesley, 2013, ‎ 1376 с.

raylib architecture, <https://github.com/raysan5/raylib/wiki/raylib-architecture>

raylib bindings, <https://github.com/raysan5/raylib/blob/master/BINDINGS.md>