

## МЕТОД ДИСКРЕТНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПРИЗЕМЛЕННЯ ПЕРСОНАЖА У 2D-ІГРАХ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*У роботі представлено метод прогнозування точки та часу приземлення ігрового об'єкта у двовимірному просторі на основі дискретного аналізу балістичної траєкторії. Описано алгоритм покрокової симуляції руху під дією гравітації з використанням фізичних променів для динамічного виявлення колізій із поверхнею. Запропонований підхід дозволяє заздалегідь обчислювати параметри взаємодії об'єкта з рельєфом, забезпечуючи передумови для плавної інтеграції процедурної анімації та усунення візуальних дефектів під час посадки.*

***Ключові слова:** процедурна анімація, прогнозування траєкторії, ігрова фізика, виявлення колізій, рівноприскорений рух.*

### *Abstract*

*The paper presents a method for predicting the landing point and time of a game object in a two-dimensional space based on a discrete ballistic trajectory analysis. An algorithm for step-by-step motion simulation under gravity using physical raycasting for dynamic collision detection with the surface is described. The proposed approach allows computing the parameters of object-terrain interaction in advance, providing the prerequisites for smooth procedural animation integration and eliminating visual artifacts during landing.*

***Keywords:** procedural animation, trajectory prediction, game physics, collision detection, accelerated motion.*

### **Вступ**

У процесі розробки динамічних двовимірних ігор важливим аспектом є забезпечення природної адаптації та плавності рухів персонажа під час взаємодії зі складним та нерівномірним рельєфом середовища. Традиційні підходи до реалізації стрибків та падінь найчастіше покладаються виключно на реактивні механізми фізичних рушіїв, де зіткнення з поверхнею реєструється безпосередньо в момент контакту. Це створює суттєві обмеження для систем процедурної анімації, які потребують певного часу на динамічну підготовку опорно-рухового апарату до зустрічі з перешкодою.

Відсутність попереднього часового та просторового розрахунку призводить до виникнення візуальних дефектів: різких стрибків корпусу, тремтіння анімації та запізненої реакції нижніх кінцівок на зміну рельєфу. Ефективним розв'язанням цієї проблеми є розробка методу випереджального дискретного прогнозування параметрів приземлення. Завдяки математичному моделюванню майбутньої балістичної траєкторії руху тіла в реальному часі стає можливим точне визначення координат та часу до безпосереднього контакту з поверхнею.

### **Результати дослідження**

В основі запропонованого методу лежить поділ теоретичної траєкторії вільного падіння об'єкта на дискретні сегменти фіксованої тривалості  $\Delta t$ , вздовж яких послідовно здійснюється перевірка на наявність геометричних перешкод. Математичний розрахунок координат віртуального положення тіла на кожному кроці прогнозу базується на класичних кінематичних рівняннях рівноприскореного руху [1]:

$$x(t)=x_0+v_x*t \quad (1)$$

$$y(t)=y_0+v_y*t+\frac{g*t^2}{2} \quad (2)$$

де  $x_0$  і  $y_0$  – початкові просторові координати об'єкта в момент старту прогнозу,  $v_x$  та  $v_y$  – компоненти поточної лінійної швидкості тіла, отримані з фізичного компонента твердого тіла,  $g$  – прискорення вільного падіння, що діє на об'єкт з урахуванням глобальних налаштувань сили тяжіння та індивідуального масштабу гравітації об'єкта [2], а  $t$  – інтегральний час, який минув від початку симуляції траєкторії.

Алгоритм функціонує всередині ітераційного циклу, обмеженого максимальною кількістю кроків. На кожному кроці  $i$  обчислюється час що пройшов з початку прогнозу  $t=i*\Delta t$ , після чого за формулами (1) та (2) визначається кінцева точка поточного відрізка траєкторії. Між попередньою точкою та новою обчисленою точкою формується векторний сегмент, уздовж якого виконується трасування фізичного променя у заданому шарі поверхонь геометрії рівня [3].

Якщо під час дискретного прогнозування виявлено перетин із геометрією середовища, ітераційний процес переривається. Точка перетину променя реєструється як точна координата приземлення, а час до моменту удару ( $t_{\text{landing}}$ ) обчислюється за формулою:

$$t_{\text{landing}}=((i - 1)+ \text{segmentFraction})*\Delta t \quad (3)$$

де  $i$  – порядковий номер поточного сегмента, на якому зафіксовано колізію, а  $\text{segmentFraction}$  – безрозмірний коефіцієнт, що визначає, яку саме частину поточного відрізка встиг подолати об'єкт до моменту безпосереднього геометричного зіткнення. Зазначений коефіцієнт обчислюється через відношення довжини пройденого відрізка променя до повної довжини сегмента:

$$\text{segmentFraction}=\frac{d_{\text{hit}}}{d_{\text{total}}} \quad (4)$$

де  $d_{\text{hit}}$  – відстань від початку поточного сегмента до зареєстрованої точки контакту, а  $d_{\text{total}}$  – повна запланована довжина поточного сегмента траєкторії.

Завдяки прогнозуванню місця й часу приземлення можна завчасно підготувати персонажа до посадки, зокрема витягнути ноги в сторону місця посадки (рис. 1).

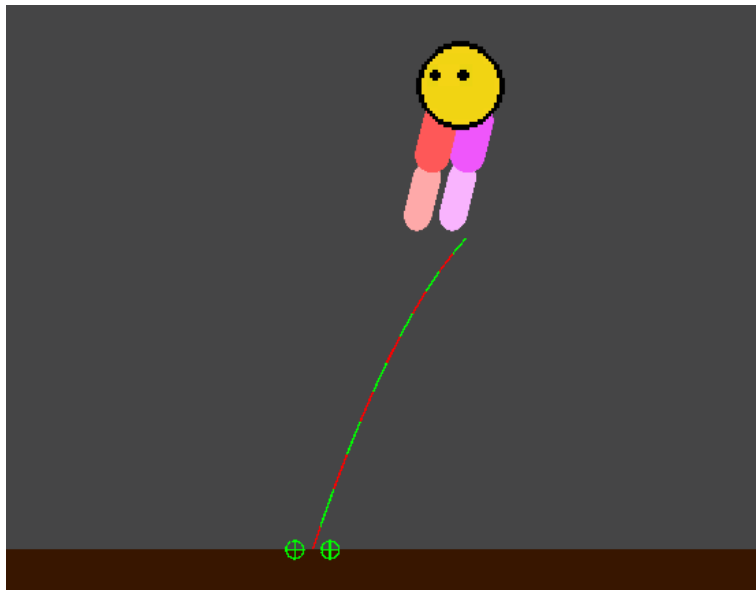


Рис. 1. Візуалізація прогнозування траєкторії польоту

Програмна реалізація розробленого методу представлена у вигляді функції розрахунку точки приземлення, яка використовує механізм передачі вихідних параметрів для повернення обчислених фізичних величин. У випадку, якщо за визначену кількість кроків циклу жодного перетину з поверхнею не виявлено, алгоритм повертає негативний логічний результат, сигналізуючи про відсутність приземлення в межах зони досяжності сенсорів.

### Висновки

У ході дослідження було розроблено та програмно реалізовано метод дискретного прогнозування просторово-часових параметрів приземлення персонажа у двовимірному ігровому просторі. Описаний підхід, заснований на інтегруванні рівнянь рівноприскореного руху та покроковому використанні фізичних променів, забезпечує високу точність обчислення координат та часу контакту з поверхнею рельєфу ще до фактичного фізичного зіткнення тіла з геометрією середовища.

Інтеграція розробленого методу в загальну архітектуру процедурної анімації [4] дозволяє повністю нівелювати затримки в розрахунках інверсної кінематики, завчасно адаптувати положення корпусу персонажа та усунути ефект візуального тремтіння, суттєво підвищуючи якість та плавність динамічних сцен у двовимірних іграх.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рівноприскорений прямолінійний рух. Прискорення [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://fizyka.inf.ua/Topics/Mehanika/Kinematuka/3.html>
2. Unity Technologies. Rigidbody2D.gravityScale [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://docs.unity3d.com/6000.3/Documentation/ScriptReference/Rigidbody2D-gravityScale.html>
3. Unity Technologies. Physics2D.Raycast [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://docs.unity3d.com/6000.3/Documentation/ScriptReference/Physics2D.Raycast.html>
4. Аналіз систем процедурної анімації в 2d-платформерах. Оксана Володимирівна Романюк, В'ячеслав Анатолійович Іванчук. Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії. – Вінниця, 2026: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2026/paper/view/27968>

Науковий керівник: **Романюк Оксана Володимирівна** – доцент кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [romaniukoksanav@gmail.com](mailto:romaniukoksanav@gmail.com)

**Іванчук В'ячеслав Анатолійович** – студент групи 6PI-22б, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [ivancukvaceslav5@gmail.com](mailto:ivancukvaceslav5@gmail.com)

Supervisor: **Romaniuk Oksana Volodymyrivna** – Associate Professor of the Software Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [ivancukvaceslav5@gmail.com](mailto:ivancukvaceslav5@gmail.com)

**Ivanchuk Viacheslav Anatoliiovych** – student of group 6PI-22b, Faculty of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [romaniukoksanav@gmail.com](mailto:romaniukoksanav@gmail.com)