УДК 004.415

В.П. Гаврилюк
О.М. Ткаченко

РОЗРОБКА МЕТОДУ НАКЛАДАННЯ ДИНАМІЧНИХ ЕФЕКТІВ НА СТАТИЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ З ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМ АНАЛІЗОМ СЦЕНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. *Розроблено метод накладання динамічних ефектів на статичні зображення, що використовує інтелектуальний аналіз сцени для створення фізично правильних візуальних ефектів. Метод включає автоматичне розпізнавання об'єктів, моделювання реалістичної фізики частинок та створення адаптивних паттернів взаємодії з елементами сцени..*

Ключові слова: *цифрова обробка зображень, HSV, математична морфологія системи частинок.*

Abstract. *A method for applying dynamic effects to static images has been developed, which uses intelligent scene analysis to create physically correct visual effects. The method includes automatic object recognition, modeling realistic particle physics, and creating adaptive patterns of interaction with scene elements..*

Keywords*: digital image processing, HSV, mathematical morphology of particle systems.*

Вступ

Сучасні методи цифрової обробки зображень базуються на математичних моделях представлення візуальної інформації у дискретному просторі [1]. Фундаментальними концепціями є кольорові простори, серед яких HSV-простір (Hue, Saturation, Value) забезпечує більш інтуїтивне представлення кольорової інформації порівняно з RGB-простором, що особливо важливо для задач сегментації об'єктів за кольоровими ознаками [2].

Морфологічні операції становлять важливий клас алгоритмів обробки бінарних та сірих зображень, що базуються на теорії множин та топологічних властивостях. Основними морфологічними операціями є ерозія та дилатація, на основі яких формуються складніші операції відкриття та закриття [3]. Ці операції дозволяють ефективно усувати шуми, з'єднувати розірвані контури та виділяти об'єкти з складною геометричною структурою [4].

Теоретичною основою моделювання поведінки природних явищ у комп'ютерній графіці є системи частинок, запропоновані Рейнольдсом у 1987 році [5]. Фізична модель руху частинок базується на другому законі Ньютона, де сила дорівнює добутку маси на прискорення. Для атмосферних частинок основними силами є гравітація, опір повітря та сили вітру[6].

Термінальна швидкість частинки досягається, коли сила гравітації урівноважується силою опору повітря[7][8]. Для сферичних частинок ця швидкість визначається формулою, що враховує радіус частинки, її густину та коефіцієнт аеродинамічного опору. Моделювання турбулентності повітряних потоків потребує використання стохастичних методів та шумових функцій для створення природних флуктуацій у русі частинок.

Сегментація зображень на семантично значущі регіони є фундаментальною задачею комп'ютерного зору. Класичні підходи включають пороговий відбір, регіонарне зростання та кластеризацію у кольоровому просторі. Сучасні методи комбінують кілька підходів для підвищення надійності сегментації в умовах мінливих умов освітлення та складних текстур [9].

Аналіз глибини сцени на основі єдиного зображення використовує евристичні підходи, що базуються на візуальних ознаках глибини, таких як лінійна перспектива, градієнти розмірів об'єктів, атмосферна перспектива та взаємне перекриття об'єктів [10]. Ці методи дозволяють створювати наближені карти глибини без використання стереоскопічних даних або спеціалізованих сенсорів.

Метою дослідження є розробка автоматизованого методу трансформації статичних зображень у анімовані сцени з реалістичними динамічними ефектами, що враховують геометрію, глибину та фізичні властивості об'єктів на зображенні. Система повинна забезпечувати інтелектуальний аналіз сцени для автоматичного розпізнавання об'єктів та адаптації поведінки ефектів відповідно до контексту сцени.

Для досягнення поставленої мети визначено комплекс взаємопов'язаних завдань:

-створення алгоритму інтелектуального аналізу сцени, здатного автоматично ідентифікувати та класифікувати об'єкти різних типів включаючи природні та штучні елементи ландшафту;

- розробка системи фізично орієнтованих ефектів з реалістичною взаємодією частинок з об'єктами сцени, включаючи моделювання зіткнень, відбивання та накопичення;

- формування адаптивних алгоритмів розподілу вітрових зон з урахуванням геометричних особливостей об'єктів та їх впливу на повітряні потоки.

Новизна дослідження полягає у комплексному підході до створення динамічних ефектів, що поєднує методи комп'ютерного зору, фізичного моделювання та адаптивних алгоритмів. Розроблений підхід відрізняється від існуючих інтеграцією семантичного аналізу сцени з фізично правильним моделюванням природних явищ, що забезпечує створення візуально правдоподібних анімацій без ручного налаштування параметрів.

Розробка алгоритму інтелектуального аналізу сцени

Алгоритм інтелектуального аналізу сцени грунтується на теорії семантичної сегментації зображень, яка є підгалуззю комп'ютерного зору. Основна мета полягає у перетворенні растрового зображення у структуровану семантичну карту, де кожен піксель асоціюється з певним класом об'єктів.

HSV-колірний простір був обраний як основа для сегментації через свої властивості. На відміну від RGB-простору, HSV (Hue-Saturation-Value) краще відповідає людському сприйняттю кольору та забезпечує більшу стійкість до змін освітлення. Відтінок (Hue) кодує основний колір незалежно від яскравості, насиченість (Saturation) визначає чистоту кольору, а значення (Value) відповідає яскравості. Це дозволяє створювати більш надійні алгоритми сегментації, особливо для природних об'єктів з варіативними умовами освітлення.

Морфологічні операції представляють собою математичні методи обробки зображень, засновані на теорії множин та математичній морфології. Операції відкриття (opening) та закриття (closing) використовуються для усунення шуму та заповнення розривів у бінарних масках. Ці операції базуються на структурних елементах (kernel), що визначають форму та розмір околиці для кожного пікселя.

Блок-схема алгоритму інтелектуального аналізу сцени наведена на рисунку 1.

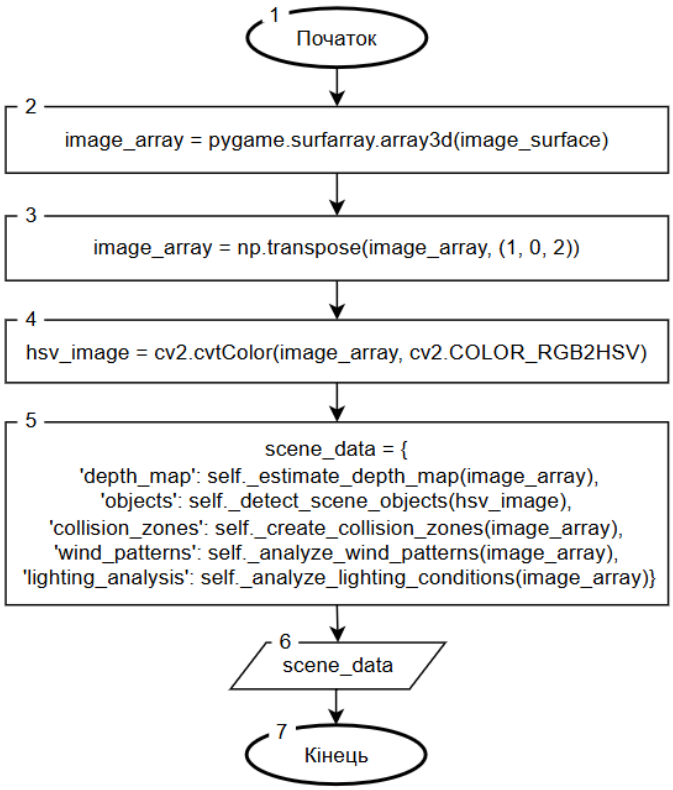

Рисунок 1 — Блок-схема алгоритму інтелектуального аналізу сцени

Алгоритм оцінки глибини реалізує евристичний підхід до монокулярної оцінки глибини - однієї з фундаментальних задач комп'ютерного зору. Цей метод базується на психофізичних принципах глибинного сприйняття, які використовує людський зоровий апарат.

Основні евристики включають:

1. Вертикальний градієнт положення - базується на припущенні про плоску земну поверхню, де об'єкти, розташовані нижче в зображенні, знаходяться ближче до спостерігача. Цей принцип випливає з проективної геометрії та перспективного проєкування тривимірного простору на двовимірну площину.

2. Аналіз контрастності та країв - використовує оператор Кенні (Canny edge detector) для виявлення різких переходів яскравості. Теоретично це базується на припущенні, що об'єкти на передньому плані мають більш чіткі контури через менший вплив атмосферного розсіювання та кращу фокусовку.

Математична модель комбінує ці фактори через зважену суму:

$$D(x,y) = \alpha \cdot V(y) + \beta \cdot E(x,y),$$

де V(y) - вертикальний фактор, E(x,y) - фактор контрастності, α та β - вагові коефіцієнти.

Блок-схема алгоритму наведена на рисунку 2.

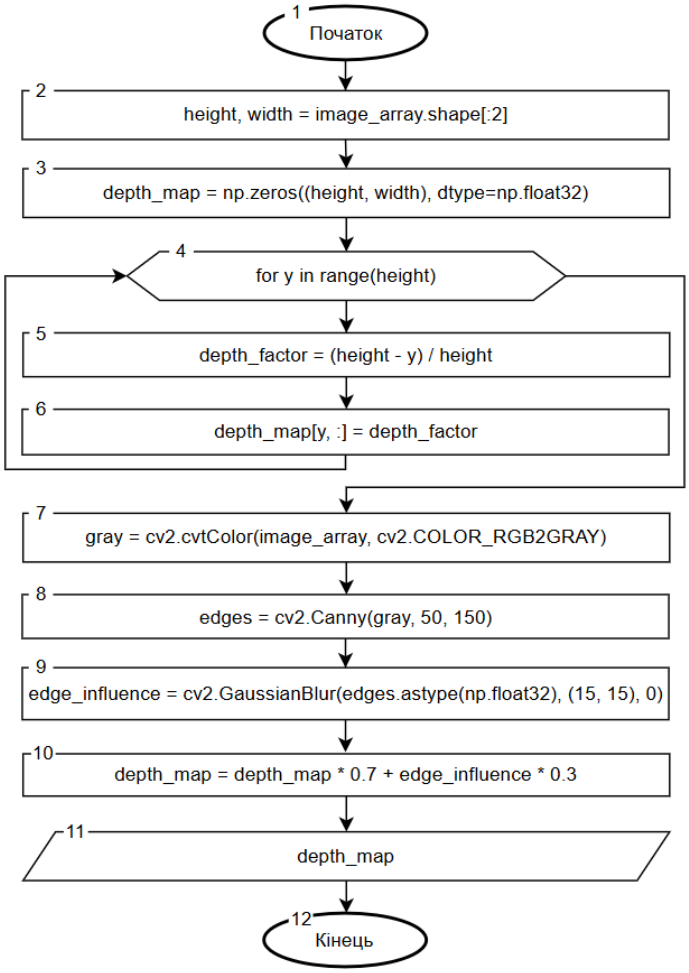

Рисунок 2 - Алгоритм оцінки глибини

Алгоритм розпізнавання об'єктів сцени

Система розпізнавання об'єктів реалізує тематичну сегментацію (semantic segmentation) через колірну сегментацію в HSV-просторі. Цей підхід базується на теорії кластеризації в колірному просторі, де кожен тип об'єкта характеризується специфічним розподілом колірних значень.

Для кожного класу об'єктів визначаються характерні діапазони в HSV-просторі. Наприклад, небо зазвичай характеризується високими значеннями відтінку в синьо-блакитному спектрі (100-130° в HSV), для рослинності - домінують зелені відтінки з варіативною насиченістю, а гірські формації характеризуються низькою насиченістю та специфічними земляними відтінками.

Морфологічні операції застосовуються для усунення артефактів сегментації та створення зв'язних регіонів. Операція відкриття (ерозія + дилатація) усуває дрібні шумові області, а операція закриття (дилатація + ерозія) заповнює внутрішні порожнини в сегментованих областях.

Система фізично орієнтованих ефектів дощу

Система фізично орієнтованих ефектів дощу базується на класичній механіці Ньютона та

аеродинаміці. Математична модель руху краплі описується системою диференціальних рівнянь другого порядку:

$$m \cdot dv/dt = F_g + F_drag + F_wind,$$

де:

- $F_g = mg$ - гравітаційна сила;
- $F_drag = -½\rho v^2 C_dA$ - сила опору повітря;
- F_wind - сила вітрового впливу.

Термінальна швидкість краплі досягається, коли сила гравітації врівноважується опором повітря:

$$v_terminal = \sqrt{(2mg/(\rho C_dA))}.$$

Цей алгоритм забезпечує реалістичну поведінку крапель, де швидкість падіння стабілізується на фізично обґрунтованому рівні.

Блок-схема алгоритму детекції об’єктів сцени наведена на рисунку 3.

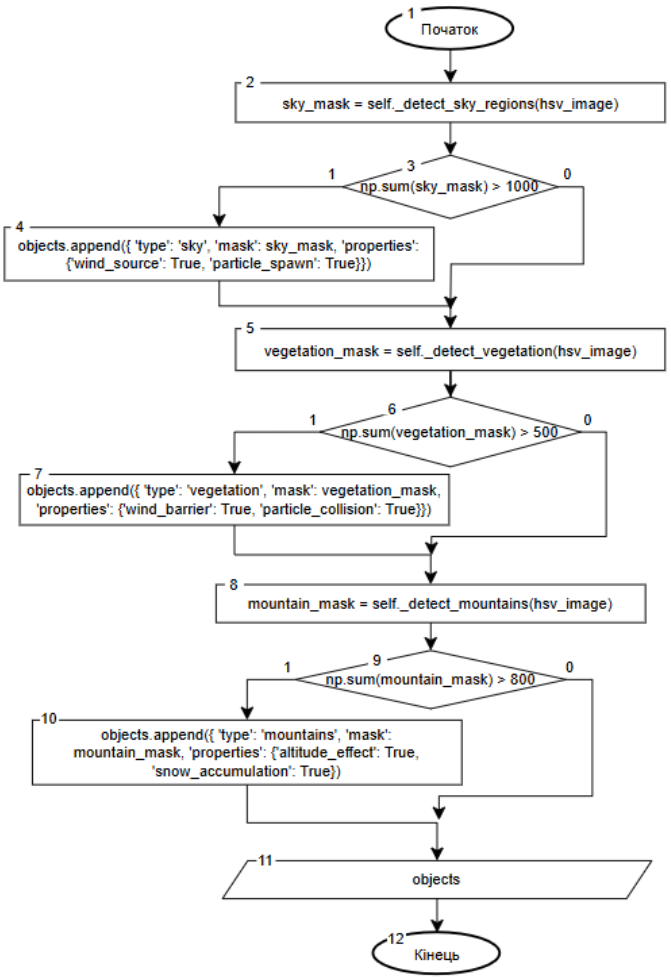

Рисунок 3 - Блок-схема алгоритму детекції об’єктів сцени

Алгоритм розрахунку вітрового впливу реалізує спрощену модель обчислювальної гідродинаміки (CFD). Система враховує:

- Орографічні ефекти - вплив рельєфу на повітряні потоки, включаючи висхідні потоки біля гірських схилів.
- Турбулентність - стохастичні збурення вітрового поля навколо перешкод.
- Граничні умови - взаємодію повітряних потоків з поверхнями різних типів.

Математично вітровий вплив моделюється як векторне поле:

$W(x,y) = W_base + W_orographic(x,y) + W_turbulent(x,y) + \varepsilon(x,y)$

де $\varepsilon(x,y)$ - стохастична компонента, що моделює дрібномасштабну турбулентність.

Алгоритм динамічного розподілу вітрових зон наведено на рисунку 4.

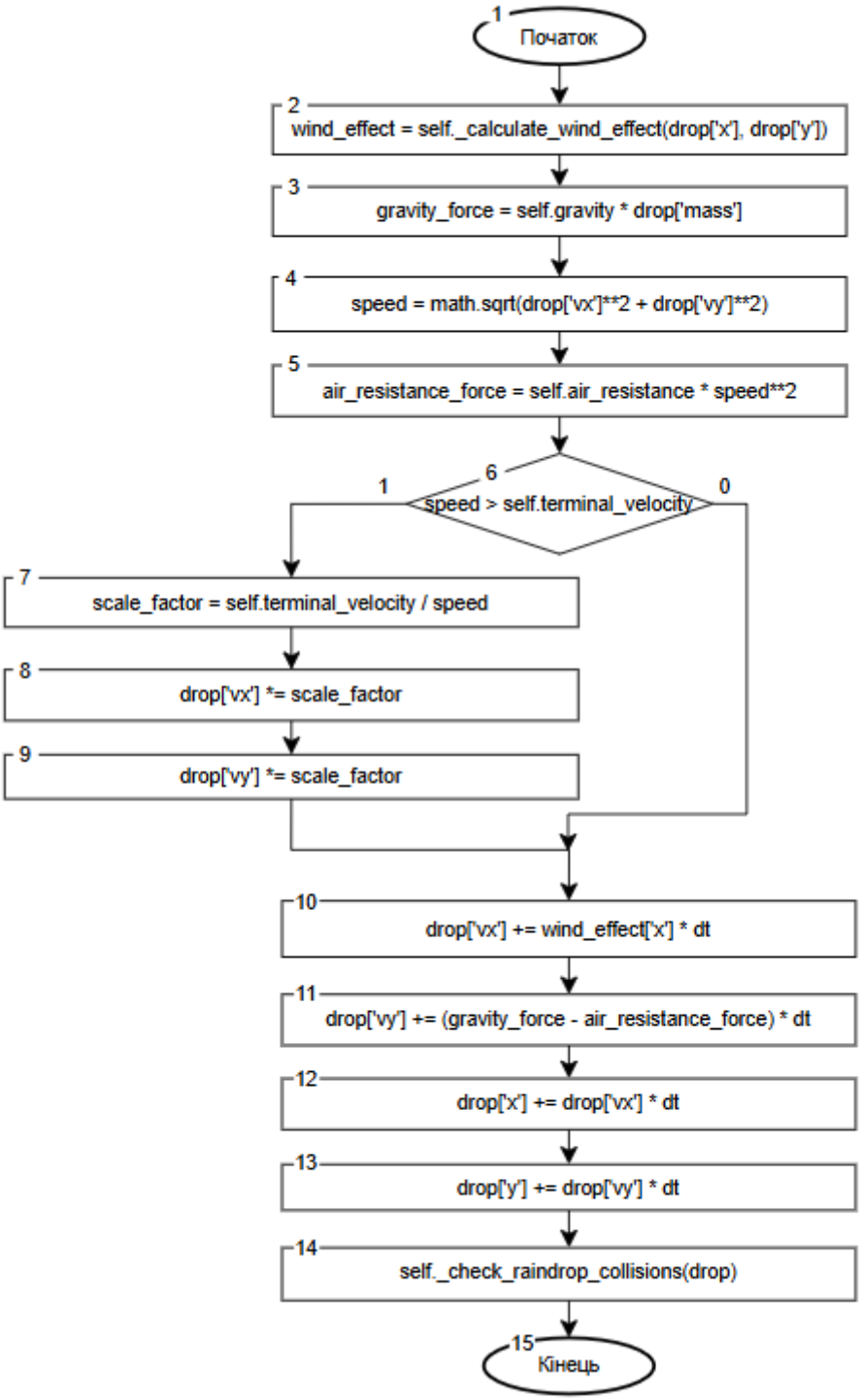

Рисунок 4 - Алгоритм динамічного розподілу вітрових зон

Алгоритм розрахунку вітрового впливу створює просторово варійовані повітряні потоки з урахуванням геометрії об'єктів сцени та їх впливу на аеродинаміку. Блок-схема алгоритму розрахунку вітрового впливу наведена на рисунку 5.

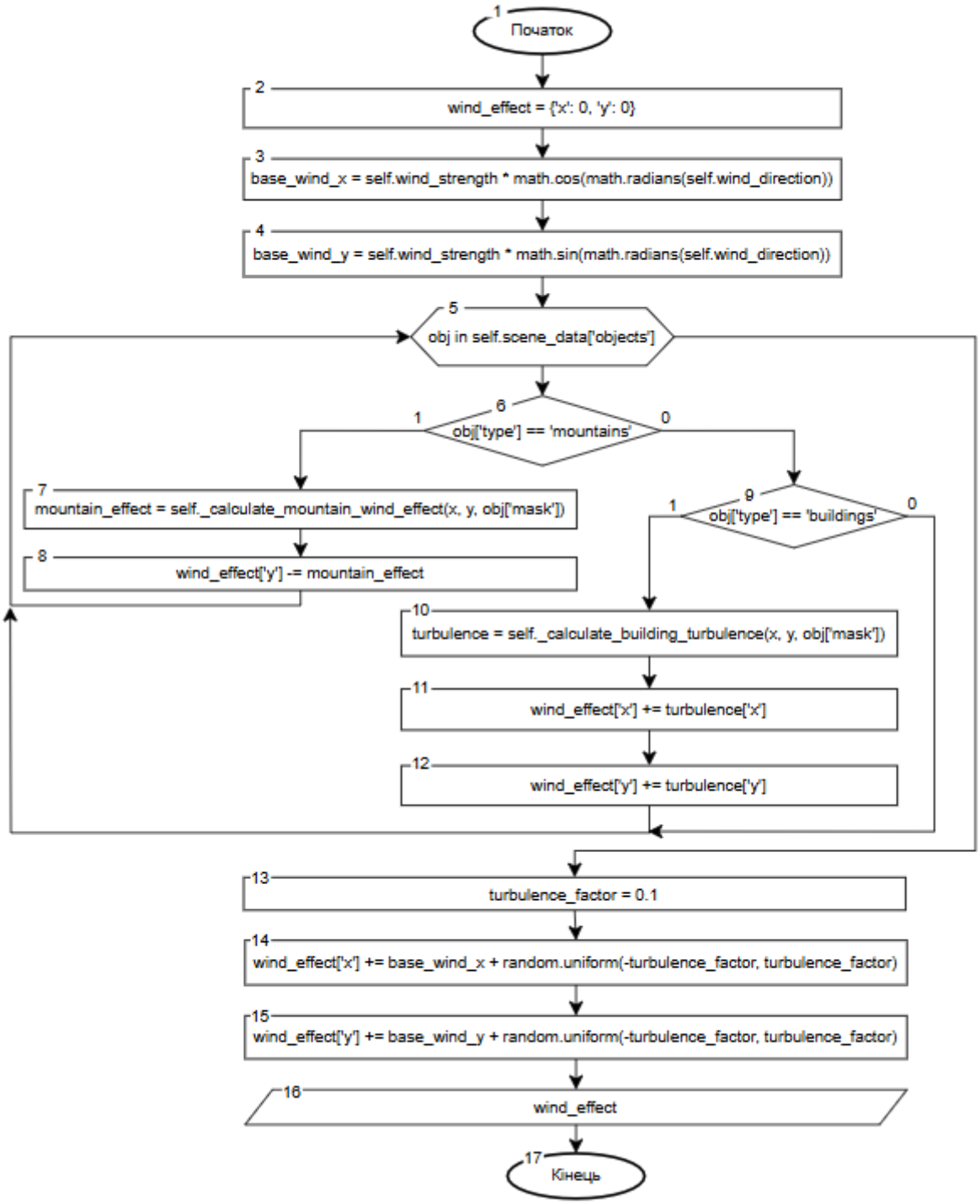

Рисунок 5 - Алгоритм розрахунку вітрового впливу

Висновки

Розроблений метод надає нові можливості для автоматизованого створення високоякісного анімованого візуального контенту в широкому спектрі прикладних галузей. Система дозволяє користувачам без спеціалізованих знань у сфері фізичного моделювання або комп'ютерної графіки створювати професійні візуальні ефекти.

У сфері розробки ігор метод забезпечує можливість швидкого створення динамічних фонових ефектів та атмосферних явищ, що підвищують імерсивність ігрового досвіду. Адаптивність системи до різних типів сцен дозволяє використовувати її для створення ефектів у різноманітних ігрових локаціях від фантастичних ландшафтів до реалістичних міських середовищ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing / R.C. Gonzalez, R.E. Woods. – 2-nd ed. – Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002. – 793 с.

2. Russ J.C. The Image Processing Handbook / J.C. Russ. – 6-th ed. – Boca Raton, FL: CRC Press, 2011. – 888 с.

3. Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology / J. Serra. – Vol. 1. – London: Academic Press, 1982. – 396 с.

4. Карась О.В., Тимчик С.В., Салдан Ю.Й. та ін. Аналіз зображень очного дна на основі машинного навчання / О.В. Карась, С.В. Тимчик, Ю.Й. Салдан // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2024. – Т. 44, № 1. – С. 140–147. – DOI: 10.31649/1681-7893-2024-47-1-140-147.

5. Reynolds C.W. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model / C.W. Reynolds // Proceedings of SIGGRAPH ’87, ACM. – 1987. – Pp. 21–34.

6. Manning C.D., Lin H.Y. Particle Systems in Computer Graphics / C.D. Manning, H.Y. Lin. – Boston, MA: CRC Press, 2008. – 224 с.

7. Clift R., Grace J.R., Weber M.E. Bubbles, Drops, and Particles / R. Clift, J.R. Grace, M.E. Weber. – London: Academic Press, 1978. – 380 с.

8. Forsyth D.A., Ponce J. Computer Vision: A Modern Approach / D.A. Forsyth, J. Ponce. – 2-nd ed. – Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2011. – 720 с.

9. Shapiro L.G., Stockman G.C. Computer Vision / L.G. Shapiro, G.C. Stockman. – Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001. – 720 с.

10. Saxena A., Chung S.H., Ng A.Y. Learning depth from single monocular images / A. Saxena, S.H. Chung, A.Y. Ng // Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS ’09). – 2009. – Vol. 22. – Pp. 1161–1168.

Гаврилюк Вадим Павлович – студент групи 5ПІ-21б, ФІТКІ, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: politeh.conferance@gmail.com;

Ткаченко Олександр Миколайович – *к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: alextk1960@gmail.com.*

Havrylyuk Vadym Pavlovych *– student of group 5PI-21b, FITKI, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: politeh.conferance@gmail.com;*

Tkachenko Oleksandr Mykolayovych *– Ph.D., Associate Professor of the Department of Software, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: alextk1960@gmail.com.*