

ДОДАТОК А
«Графічні матеріали»

Таблиця А.1 — Загальна характеристика кваліфікаційної роботи

Показник	Опис
Об'єкт дослідження	система доповненої реальності (Augmented Reality, AR), як різновид систем віртуальної реальності
Предмет дослідження	методи машинного навчання та нейронні мережі
Мета дослідження	дослідження методів та технології реалізації систем доповненої реальності, дослідження методів класифікації об'єктів у режимі реального часу та методів побудови маркерної системи доповненої реальності для швидкого, мобільного і бюджетного розміщення AR-контенту, динамічної візуалізації об'єктів, занурення користувача у фізичний світ з реальними і доповненими об'єктами
Методи дослідження	методи системного та об'єктно-орієнтованого аналізу, методи машинного навчання
Нові наукові результати	<ul style="list-style-type: none"> – моделі штучної нейронної мережі, побудовані за допомогою згорткової та рекурентної архітектури; – структурна схема для реалізації (візуалізації) системи доповненої реальності, побудована за допомогою моделі комбінованої нейронної мережі RNN-CNN; – модель маніпуляції об'єктами доповненої реальності.
Практична значимість	моделювання штучної нейронної мережі за допомогою бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV та програмна реалізація системи доповненої реальності, що дозволяє доповнювати об'єкти реального світу штучно побудованими, створюючи таким чином контент з ефектами доповненої реальності, необхідний користувачу.

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНУ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Доповнена реальність – це технологія накладення інформації у візуальній формі (текст, графіка, аудіо, відео та ін.) на реальні об'єкти в режимі реального часу, реалізована шляхом проектування і введення будь-яких віртуальних, уявних об'єктів на даний простір (екран комп'ютера, телефону або спеціальних пристроїв).

Доповнена реальність визначається трьома характеристиками:

- поєднує в собі реальні та віртуальні об'єкти;
- інтерактивна в реальному часі;
- зареєстрована в трьох вимірах.

Існують три основні напрямки використання технології доповненої реальності:

- безмаркерна технологія AR;
- просторова технологія;
- AR технологія на базі маркерів.

В роботі розглядається маркерна технологія доповненої реальності, як надійна, перевірена, практично працююча без збоїв.

Під маркером розуміється об'єкт, розташований в навколишньому просторі, який перебуває і аналізується спеціальним програмним забезпеченням для подальшого відтворення віртуальних об'єктів. У вигляді маркерів може бути: геометричні фігури простої форми (прямокутник, коло, квадрат), об'єкти у формі прямокутного паралелепіпеда, очі або обличчя людей.

Основа технології доповненої реальності – це система оптичного (камера) трекінгу (маркери). Камера розпізнає маркери в реальному світі, «переносить» їх у віртуальне середовище, накладає один шар реальності на іншій і таким чином створює світ доповненої реальності.

АКТУАЛЬНІСТЬ

Одним з перспективних напрямків ІТ-сфери є технологія візуалізації даних, до якої відноситься технологія віртуальної реальності і її різновид – доповненої реальності.

Доповнена реальність використовується в багатьох сферах:

- соціальна взаємодія (комунікація, розваги і ігри);
- освіта;
- туризм;
- торгівля;
- будування та дизайн;
- медицина;
- автомобілебудування та інші.

Поява і широке поширення мобільних пристроїв зі значною обчислювальною потужністю та камерами з високою роздільною здатністю дозволило перейти до технологій обробки відеопотоку з одночасним додаванням віртуальних графічних або текстових об'єктів.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Для побудови і реалізації системи доповненої реальності в роботі необхідно:

- дослідити технологію віртуальної реальності та її різновиди (технологію доповненої реальності, змішаної реальності);
- дослідити напрями використання технології доповненої реальності (маркерна, безмаркерна, просторова) та обґрунтувати використання маркерів в AR;
- дослідити методи машинного навчання для побудови систем доповненої реальності, обґрунтувати використання нейронних мереж;
- сформулювати вимоги до реалізації системи доповненої реальності;
- обрати тип і архітектуру нейронних мереж, обґрунтувати вибір алгоритмів навчання;
- побудувати штучну нейронну мережу комбінації нейронних мереж для реалізації системи доповненої реальності та виконати її навчання;
- представити структурну схему комбінації нейронних мереж для реалізації системи доповненої реальності та візуалізації об'єктів;
- представити модель маніпуляції AR об'єктами;
- виконати моделювання розробленої штучної нейронної мережі та представити програмну реалізацію системи.

ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

- розпізнавання зображення та його класифікація (за допомогою методів машинного навчання);

- по 2D моделі, отриманої з камери, визначити маркер, побудувати віртуальну 2D або 3D модель об'єкта і прив'язати її до мітки.

Після цього, як би не пересувалася мітка в реальному просторі, віртуальна 2D або 3D модель на ній буде точно слідувати за рухом мітки.

АРХІТЕКТУРА ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

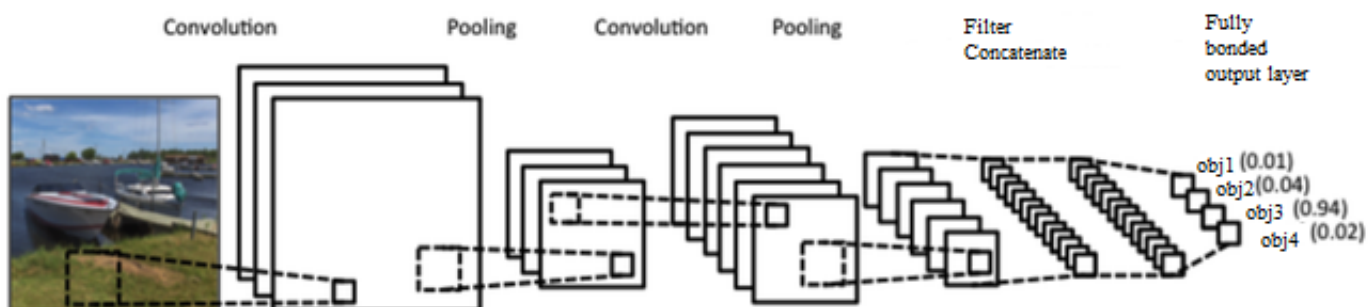


Рисунок А.1 – Архітектура згорткової нейронної мережі

Таблиця А.2. – Архітектура згорткової нейронної мережі

Номер шару	Тип шару	Розмір шару (входу)	Розмір ядра згортки
1	Згортковий (convolution)	100*100	5*5
2	Поеднуючий (pooling)	25*25	5*5
3	Згортковий (convolution)	16*16	3*3
4	Поеднуючий (pooling)	8*8	3*3
5	Повнозв'язаний (filter concatenate)	16	-
6	Повнозв'язаний (filter concatenate)	30	-
7	Кінцевий повністю пов'язаний шар (fully bonded output layer)	10	-

АРХІТЕКТУРА РЕКУРЕНТНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

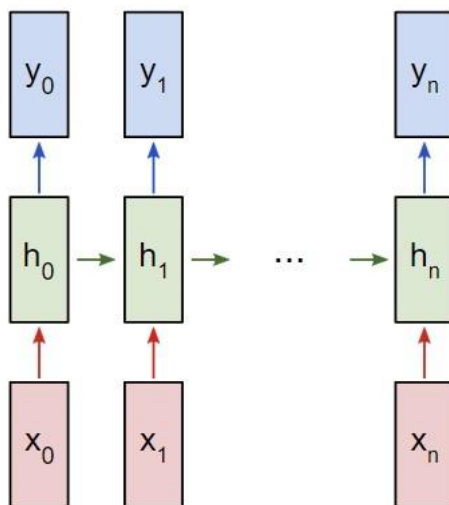


Рисунок А.2 – Архітектура рекурентної нейронної мережі

x_t – вектор вхідного шару;

h_t – вектор прихованого шару;

y_t – вектор вихідного шару.

СТРУКТУРНА СХЕМА ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

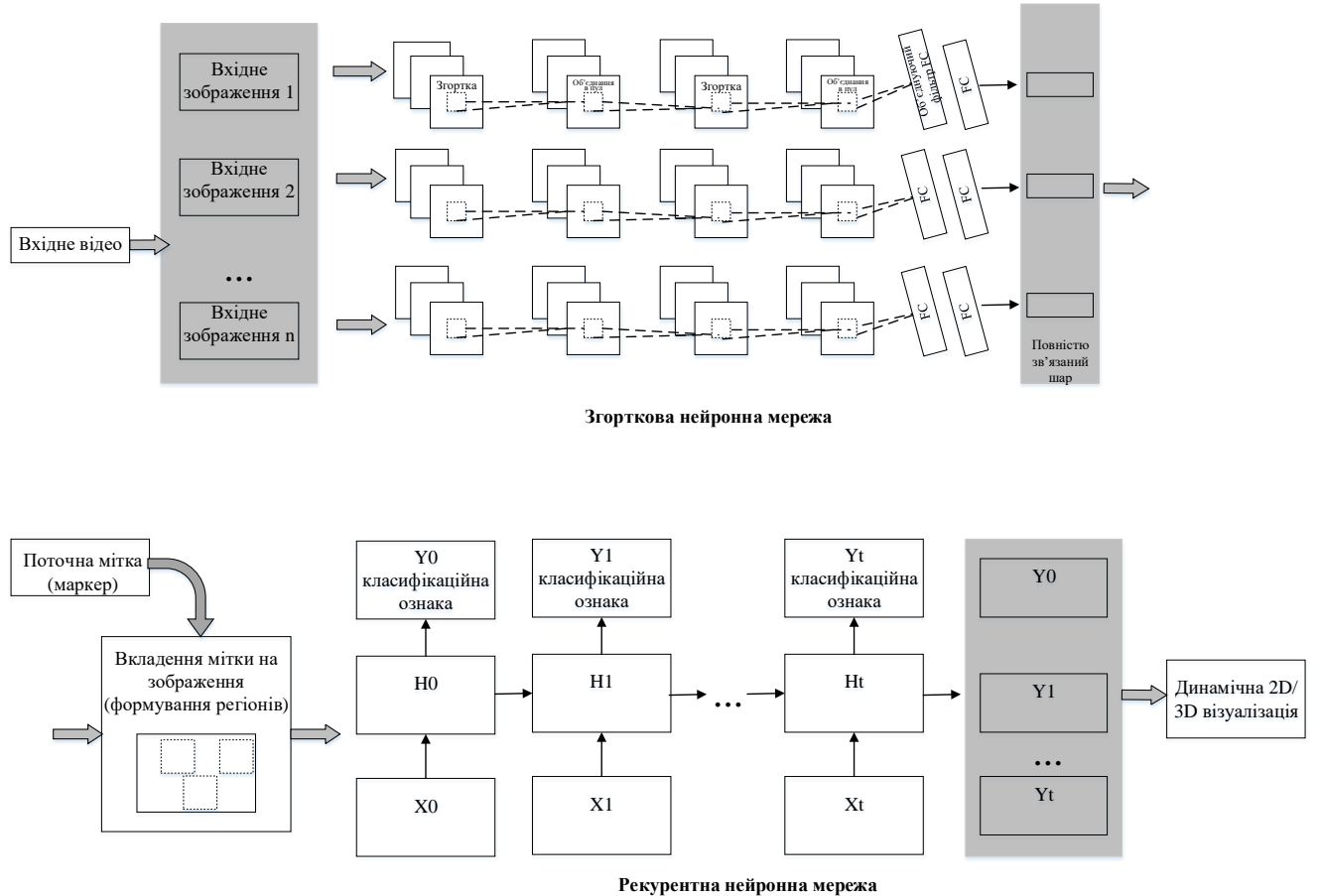


Рисунок А.3 – Структурна схема комбінованої нейронної мережі RNN-CNN для реалізації системи доповненої реальності

НАВЧАННЯ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

При навчанні нейронної мережі архітектури RNN-CNN, що застосовується для ефективної класифікації зображень, отриманих з відео потоку, доцільно розглянути спочатку навчання згорткової мережі, а потім рекурентної мережі.

Шари згортки та субдескрипції згорткової нейронної мережі чергуються, таким чином, за рахунок зниження розмірності мережі здійснюється навчання.

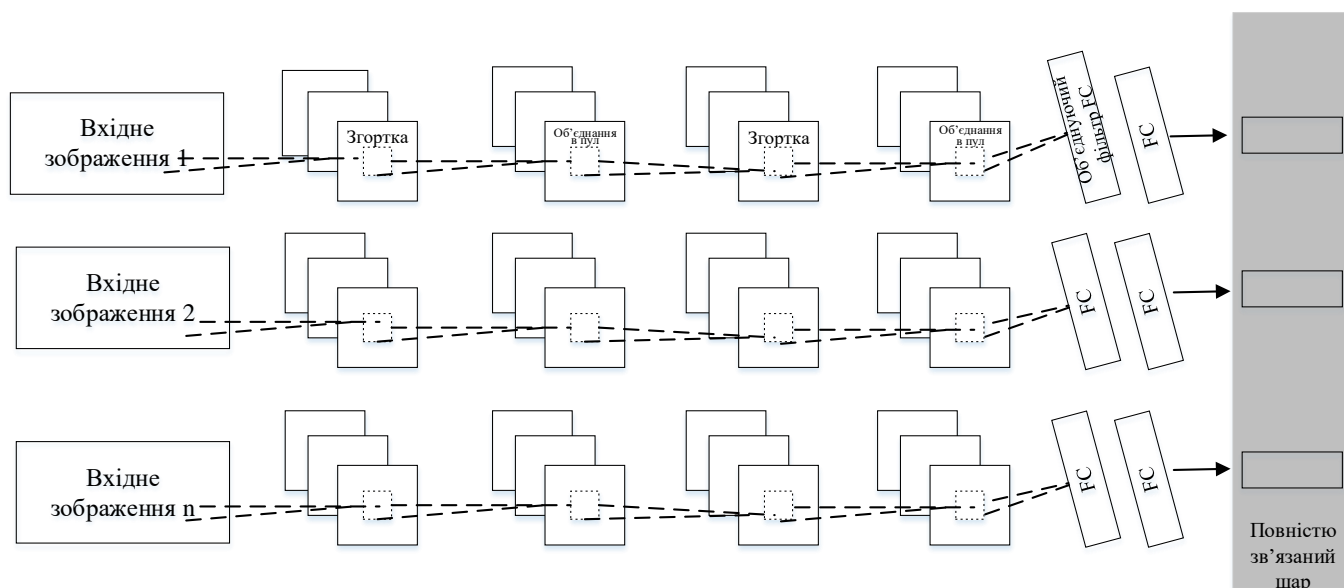


Рисунок А.4 – Навчання згорткової нейронної мережі шляхом зменшення розмірності

Як набір даних використовувалася вибірка для машинного навчання предметів інтер'єру. Навчальна вибірка містить 60 000 зразків, а тестова – 10000 зразків. Кожен зразок є двовимірною матрицею чисел від 0 до 255 розміром 100*100 пікселів.

Кінцевий повнозв'язний вихідний шар є вектором значень, який подається на вхід нейронної мережі рекурентної мережі.

НАВЧАННЯ РЕКУРЕНТНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Виконується за допомогою методу зворотного поширення помилки у часі (Backpropagation through time, ВРТТ). Зворотнє поширення помилки – це метод градієнтного спуску у напрямі. Схему методу навчання рекурентної мережі ВРТТ наведено на рисунку 5.

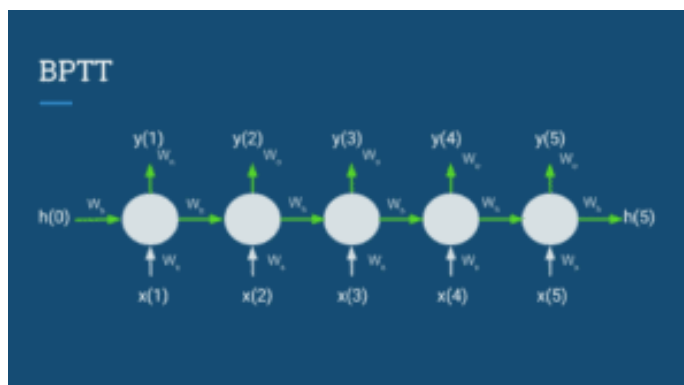


Рисунок А.5 – Метод ВРТТ для навчання рекурентної нейронної мережі

де x_t – вектор вхідного шару;

h_t – вектор прихованого шару;

y_t – вектор вихідного шару;

w_t – вектор вагових коефіцієнтів;

t – момент часу.

Поновлення всіх вагових коефіцієнтів відбуваються після рекурсії. Модель навчання рекурентної мережі має вигляд

$$\begin{aligned}
 y(t) &= \text{softmax} \left(W_0^T h(t) \right), \\
 y(t) &= \text{softmax} \left(W_0^T f \left(W_h^T h(t-1) + W_x^T x(t) \right) \right), \\
 y(t) &= \text{softmax} \left(W_0^T f \left(W_h^T f \left(W_h^T h(t-2) + W_x^T x(t-1) \right) + W_x^T x(t) \right) \right), \\
 y(t) &= \text{softmax} \left(W_0^T f \left(W_h^T f \left(W_h^T f \left(W_h^T h(t-3) + W_x^T x(t-2) \right) + W_x^T x(t-1) \right) + W_x^T x(t) \right) \right).
 \end{aligned} \tag{5}$$

Функція Softmax застосовується для задач класифікації, якщо кількість класів більше двох, використовується для останнього шару, дозволяючи отримати вектор з класифікованими об'єктами. Координати отриманого вектора визначаються як ймовірність, що об'єкт належить до певного класу. Кожна координата представлена речовим числом в інтервалі $[0,1]$ та сума координат дорівнює 1.

МОДЕЛЬ МАНІПУЛЯЦІЇ AR ОБ'ЄКТАМИ

Маніпуляція – процес обробки дій користувача із збереження змін віртуальних 3D-об'єктів за будь-якої зміни об'єкта реального світу так, щоб візуалізувати віртуальні об'єкти у реальному оточенні.

Координати точок об'єкта при повороті, переміщенні та зміні масштабу об'єкта у загальному випадку змінюються у вигляді моделі

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де X_0, Y_0, Z_0 – початкові координати точки об'єкта;

X_1, Y_1, Z_1 – кінцеві координати точки об'єкта;

M – коефіцієнт зміни масштабу;

$\|a_{mn}\|$ – матриця перетворення повороту, елементи якої виражаються через кути повороту довкола трьох просторових осей;

$\vec{r} = (r_1, r_2, r_3)$ – вектор переміщення об'єкта.

Задача розміщення віртуальних меблів є двовимірною, тобто розміщення предметів меблів здійснюється в межах площини підлоги приміщення, по осях X та Z , обертання здійснюється навколо осі Y (рисунок 6).

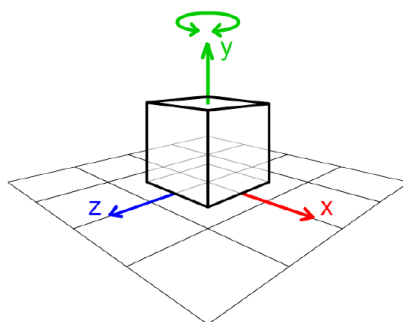


Рисунок 6 – Маніпуляція об'єктом вздовж осей переміщення (X, Z) та осі обертання Y

При переміщенні та обертанні об'єкта в площині XZ без зміни масштабу модель маніпуляції об'єктами спрощується: Y залишається незмінною, а X та Z змінюються

$$\begin{bmatrix} Z_1 \\ X_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_0 \\ X_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_3 \\ r_1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

де φ – кут повороту об'єкта навколо осі Y .

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

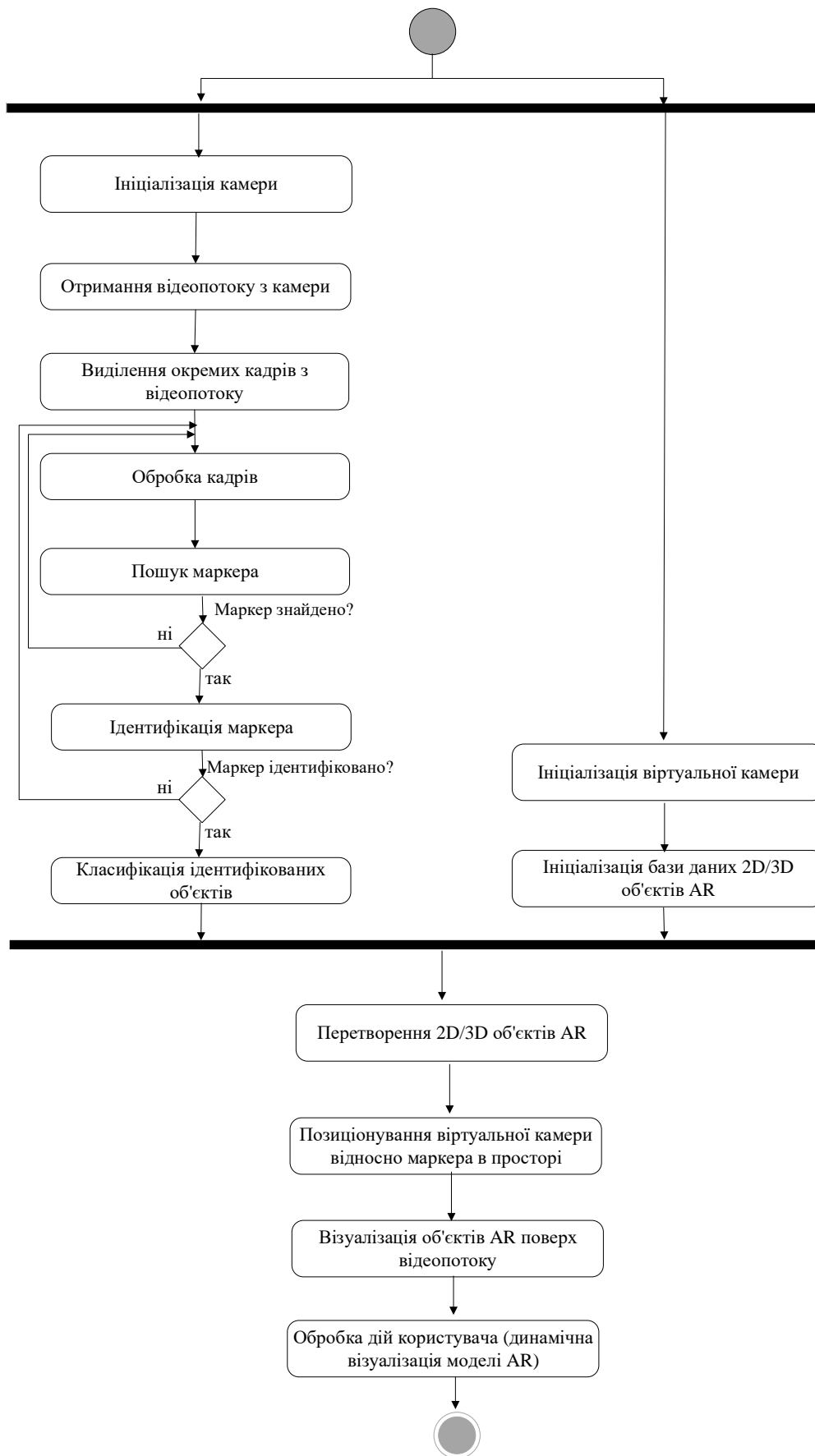


Рисунок А.7 – Схема алгоритму роботи системи доповненої реальності

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

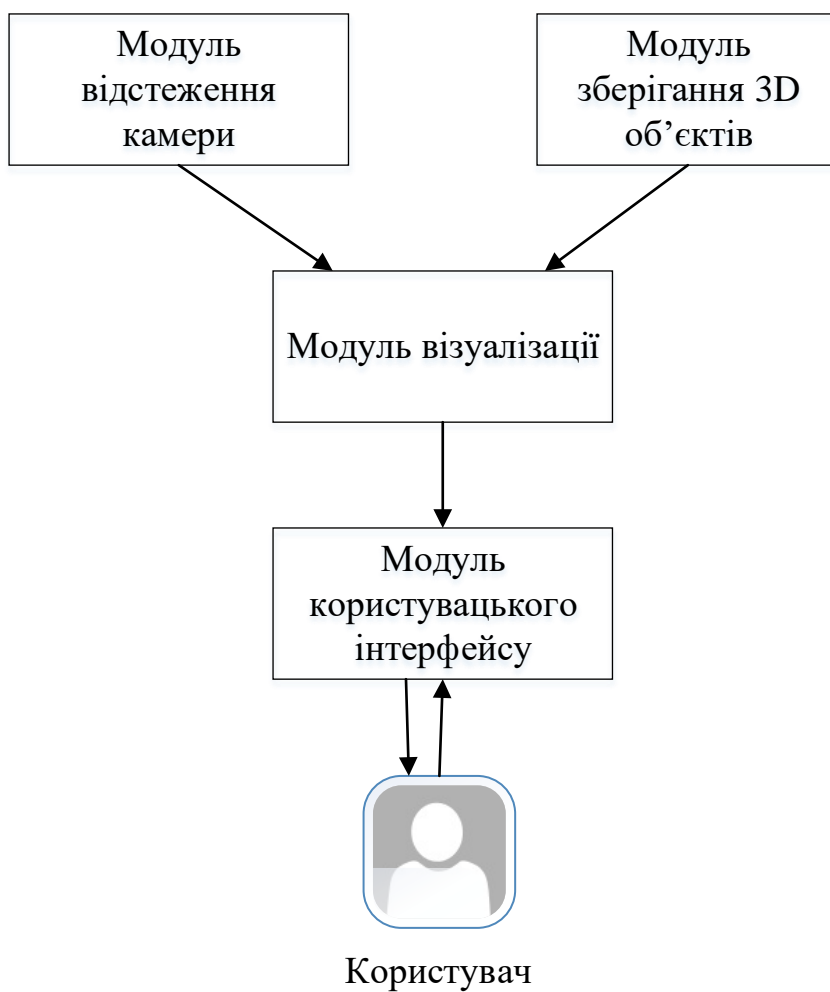


Рисунок А.8 – Структура застосування доповненої реальності



{vase 87%, furniture wall 91%, TV (98%), book shelf (99%), curbstone (98%), chandelier (99%), chair (99%), notebook (99%), flower (99%)}

Рисунок А.9 – Приклад класифікації об'єктів за допомогою запропонованих нейронних мереж



Рисунок А.10 – Приклад проекту дизайну інтер'єру



Рисунок А.11 – Приклад побудови дизайну інтер'єру за допомогою AR



Рисунок А.12 – Приклад побудови дизайну інтер'єру за допомогою AR



Рисунок А.13 – Приклад 3D візуалізації об'єктів за допомогою AR



Рисунок А.14 – Приклад 3D візуалізації об'єктів за допомогою AR



Рисунок А.15 – Приклад 3D візуалізації об'єктів за допомогою AR



Рисунок А.16 – Приклад 3D візуалізації об'єктів за допомогою AR