

Міністерство освіти і науки України  
Чорноморський національний університет імені Петра Могили

**Методична серія. Випуск 454**

*Заснована в 2016 році*

**В. В. Нікольський, В. В. Старченко**

# **Технології віртуальної та доповненої реальності**

Методичні рекомендації до виконання  
практичних робіт



Миколаїв – 2025

*Рекомендовано до друку Вченою радою факультету комп'ютерних наук Чорноморського національного університету імені Петра Могили (протокол № 5 від 26 грудня 2024 року).*

**Рецензенти:**

**І. М. ЖУРАВСЬКА**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри комп'ютерної інженерії ЧНУ імені Петра Могили.

**Ю. В. ОДРОБІНСЬКИЙ**, канд. мистецтвознавства, доцент, зав. кафедри дизайну ЧНУ імені Петра Могили.

**Нікольський В. В.**

Н 77      Технології віртуальної та доповненої реальності : метод. рек. до викон. практичних робіт / В. В. Нікольський, В. В. Старченко. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2025. – 28 с. – (Методична серія ; вип. 454).

Методичні рекомендації призначені для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія, які вивчають дисципліну «Технології віртуальної та доповненої реальності» на факультеті комп'ютерних наук Чорноморського національного університету ім. Петра Могили. Також можуть бути корисні при вивченні аналогічних за змістом та технологіями дисциплін здобувачами технічних спеціальностей закладів вищої освіти.

УДК 004.272.26

# Зміст

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                         | 4  |
| Практична робота № 1 Створення червоно-блакитного анагліфічного 3D-зображення..... | 6  |
| 1.1 Мета роботи .....                                                              | 6  |
| 1.2 Обладнання та програмне забезпечення.....                                      | 6  |
| 1.3 Теоретичні відомості.....                                                      | 6  |
| 1.4 Завдання .....                                                                 | 8  |
| 1.5 Критерії оцінювання .....                                                      | 8  |
| 1.6 Звітність.....                                                                 | 9  |
| Контрольні питання для захисту роботи .....                                        | 9  |
| Практична робота № 2 Створення панорамних зображень.....                           | 10 |
| 2.1 Мета роботи .....                                                              | 10 |
| 2.2 Обладнання та програмне забезпечення.....                                      | 10 |
| 2.3 Теоретичні відомості.....                                                      | 10 |
| 2.4 Завдання .....                                                                 | 14 |
| 2.5 Критерії оцінювання .....                                                      | 14 |
| 2.6 Звітність.....                                                                 | 14 |
| Контрольні питання для захисту роботи .....                                        | 14 |
| Практична робота № 3 Фотограмметричний аналіз зображення.....                      | 16 |
| 3.1 Мета роботи .....                                                              | 16 |
| 3.2 Обладнання та програмне забезпечення.....                                      | 16 |
| 3.3 Теоретичні відомості.....                                                      | 16 |
| 3.4 Завдання .....                                                                 | 18 |
| 3.5 Критерії оцінювання .....                                                      | 19 |
| 3.6 Звітність.....                                                                 | 19 |
| Контрольні питання для захисту роботи .....                                        | 19 |
| Практична робота № 4 Побудова SIRDS (Single image Random Dot Stereogram).....      | 20 |
| 4.1 Мета роботи .....                                                              | 20 |
| 4.2 Обладнання та програмне забезпечення.....                                      | 20 |
| 4.3 Теоретичні відомості.....                                                      | 20 |
| 4.4 Завдання .....                                                                 | 25 |
| 4.5 Критерії оцінювання .....                                                      | 25 |
| 4.6 Звітність.....                                                                 | 25 |
| Контрольні питання для захисту роботи .....                                        | 26 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....                                                     | 27 |

## ВСТУП

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Технології віртуальної та доповненої реальності» призначені для студентів спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія і мають на меті забезпечити глибоке розуміння сучасних технологій створення тривимірного контенту, панорамних зображень, а також застосування методів фотограмметрії для аналізу просторових даних [1].

Розробка систем віртуальної та доповненої реальності є однією з найбільш перспективних галузей сучасної комп'ютерної інженерії. Вона вимагає інтеграції знань із різних напрямів, включаючи комп'ютерну графіку, обробку зображень, програмування, а також апаратні засоби, такі як мікропроцесорні системи, трекери руху та пристрої відображення [2]. Використання цих технологій дозволяє створювати високоякісний інтерактивний контент для освітніх, розважальних, наукових та промислових цілей [3].

Під час виконання завдань практикуму студенти набудуть практичних навичок, що допоможуть їм:

1. створювати анапліфічні 3D-зображення для спрощеного відображення стереоінформації;
2. створювати панорамні зображення, які є основою для багатьох застосунків у системах віртуальної та доповненої реальності;
3. використовувати фотограмметричний аналіз для реконструкції тривимірної структури об'єктів на основі фотографій [4];
4. генерувати SIRDS (Single Image Random Dot Stereogram), що дозволяють створювати стереоефект без використання додаткового обладнання.

Особлива увага в практичних роботах приділяється використанню інженерного підходу до розв'язання завдань. Це включає вибір оптимальних алгоритмів, роботу з програмним забезпеченням та налаштуванням апаратного забезпечення, а також тестування і верифікацію отриманих результатів [5]. Ці методичні рекомендації мають на меті не лише надати практичні інструкції, але й сформувані в студентів системне бачення процесів розробки, створення та використання високоякісного контенту для віртуальних середовищ. Знання, отримані під час виконання практичних робіт, стануть міцною основою для майбутньої професійної діяльності в галузі комп'ютерної інженерії та інноваційних технологій [6].

Практичні роботи, описані в цьому документі, виконуються із застосуванням сучасного програмного забезпечення, такого як GIMP, Unity,

VisualSFM, Meshroom та інших інструментів, що є стандартами в галузі [7]. Вони спрямовані на те, щоб допомогти студентам зрозуміти важливість гармонійного поєднання теоретичних знань та інженерних рішень у розробці технологій майбутнього.

# Практична робота № 1

## Створення червоно-блакитного анагліфічного 3D-зображення

### 1.1 Мета роботи

Навчитися створювати анагліфічні стереозображення для відображення об'ємного ефекту за допомогою червоно-блакитних анагліфічних окулярів.

### 1.2 Обладнання та програмне забезпечення

Комп'ютер із встановленим графічним редактором (наприклад, GIMP).

Червоний і блакитний фільтри або анагліфічні окуляри для перевірки результату.

### 1.3 Теоретичні відомості

Анагліф (від грец. *αναγλιφωσ* – рельєфний) – метод отримання стереоефекту для стереопари звичайних зображень за допомогою кольорового кодування зображень, призначених для лівого і правого ока. Для отримання ефекту необхідно використовувати спеціальні (анагліфічні) окуляри, в яких замість лінз вставлені спеціальні світлофільтри, як правило, для лівого ока – червоний, для правого – блакитний (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Анагліфічні окуляри: а – паперові (одноразові); б – багаторазові

Стереозображення являє собою комбінацію зображень стереопари, в якій в червоному каналі зображена картина для лівого ока (правий її не бачить через світлофільтр), а в блакитному (синьо-зеленому) – для правого. Тобто, кожне око сприймає зображення, забарвлене в протилежний колір.

Кожен ракурс стерео-зображення пропускається через спеціальний фільтр. Вибір фільтрів безпосередньо пов'язаний з окулярами для перегляду готового зображення.

Найпопулярніші окуляри – червоно-блакитні, де ліве скло червоне, а праве – блакитне. Для таких окулярів правий ракурс вихідної стереопари потрібно пропустити через «блакитний» фільтр (тобто видалити червоний колір), а лівий ракурс – через «червоний» фільтр (видалити блакитний колір). Простота ідеї поєднується з простотою реалізації – таку фільтрацію можна легко провести аналоговими методами (без участі комп'ютера – простими скляними фільтрами).

Найбільш поширеним форматом зберігання зображення на комп'ютері є RGB (Red – червоний, Green – зелений, Blue – синій). За такого подання кожен піксель (точка, мінімальна одиниця розподілу, сукупність яких формує повне зображення) закодований поєднанням червоного, зеленого і синього. У найпростішому випадку кожен піксель анагліфічного зображення буде дорівнювати R-компоненту від лівого ракурсу і GB-компоненту від правого ракурсу (рис. 1.2).

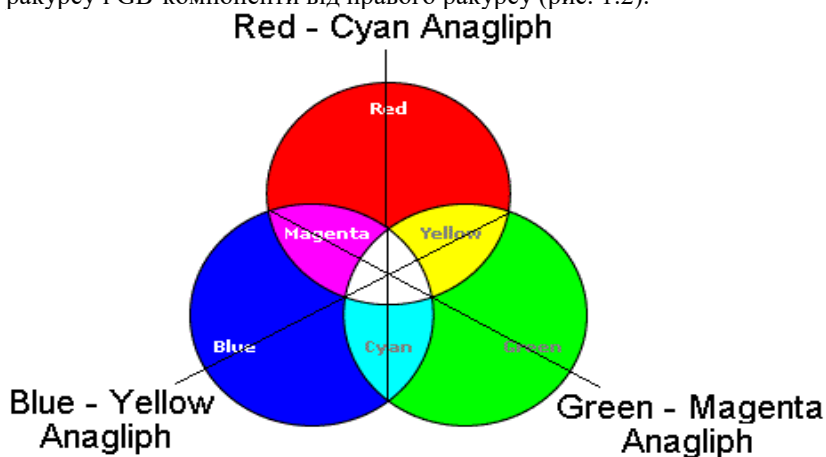


Рисунок 1.2 – Можливі колірні пари для побудови анаглівів

Переваги анагліфічного методу:

- дешевизна і доступність. Картонні окуляри з пластиковими фільтрами коштують відносно дешево;
- висока сумісність. Немає необхідності міняти обладнання, що відтворює анагліфи. Вони сумісні практично з усіма проєкторами, моніторами, екранами кінотеатрів та пристроями кольорового друку;

– немає необхідності в спеціальному програмному забезпеченні для перегляду анагліфів. Їх можна дивитися в звичайному переглядачі, програвачі, інтернет-браузері без сторонніх розширень.

Недоліки анагліфічного методу:

– у різних людей є різна «переносимість» такого розфарбовування, всім необхідний деякий час для адаптації і у всіх з часом втомлюються очі. Час комфортного перегляду індивідуальний, хоча і піддається тренінгу;

– анагліфічному зображенню властиві «сліпі плями». Тобто певні кольори просто губляться;

– виникає «пробив кольору». Тобто певні кольори стають занадто яasnими.

– з'являється різниця яскравості ракурсів.

Згодом виникла ще одна неочевидна проблема, пов'язана не із самим анагліфом, а з розробленими без адаптації під нього форматами стиснення відео і зображення. Популярні формати JPEG для зображення і сімейство форматів MPEG для відео адаптують колірний простір для максимально ефективного стиснення, що було розраховано для звичайного моноскопічного зображення, тоді як зберігання анагліфа призводить до появи колірного пробиву, тобто до двоїння зображення (взаємопроникнення ракурсів).

#### **1.4 Завдання**

1. Відкрийте графічний редактор (наприклад, GIMP).
2. Завантажте два зображення одного об'єкта, отримані з невеликим горизонтальним зміщенням (приблизно 5-7 см).
3. Відокремте червоний канал лівого зображення та збережіть його як новий шар.
4. Відокремте синій і зелений канали правого зображення та збережіть його як інший шар.
5. Об'єднайте обидва шари так, щоб отримати червоно-блакитне анагліфічне зображення.
6. Перевірте результат, використовуючи анагліфічні окуляри, щоб побачити об'ємний ефект.
7. Збережіть готове анагліфічне зображення у форматі PNG або JPG.

#### **1.5 Критерії оцінювання**

Робота оцінюється за наступними критеріями:

- якість об'ємного ефекту: 5 балів;
- коректність налаштувань каналів: 3 бали;
- якість оформлення роботи та дотримання інструкцій: 2 бали



## **1.6 Звітність**

До звіту слід включити:

- опис процесу створення анагліфічного зображення з ілюстраціями проміжних етапів;
- остаточне анагліфічне зображення;
- коментар щодо досягнутого ефекту та можливих покращень.

## **Контрольні питання для захисту роботи**

1. Що таке анагліфічне зображення, і як воно дозволяє бачити тривимірний ефект?
2. Які кольори використовуються для створення червоно-блакитного анагліфічного зображення, і чому саме вони?
3. Який принцип лежить в основі створення анагліфічного зображення?
4. Які основні етапи створення червоно-блакитного анагліфічного 3D зображення?
5. Які особливості підготовки лівого та правого зображень для створення анагліфа?
6. Яке програмне забезпечення можна використовувати для створення анагліфічних зображень, і як воно допомагає у процесі?
7. Як налаштування параметрів зсуву зображень впливає на якість анагліфічного зображення?
8. Які обмеження мають анагліфічні зображення порівняно з іншими методами створення 3D-ефекту?
9. Яким чином кольоровий анагліф впливає на відтворення кольорів на зображенні?
10. Які помилки можуть виникнути при створенні анагліфічного зображення, і як їх уникнути?

## Практична робота № 2

### Створення панорамних зображень

#### 2.1 Мета роботи

Навчитися створювати панорамні зображення з використанням кількох фотографій однієї сцени, об'єднаних у єдине широкоформатне зображення.

#### 2.2 Обладнання та програмне забезпечення

Цифрова камера або смартфон для зйомки фотографій.

Комп'ютер із встановленим програмним забезпеченням для створення панорам (наприклад, Hugin, Adobe Photoshop, Microsoft ICE або будь-який інший редактор із підтримкою створення панорам).

#### 2.3 Теоретичні відомості

**Панорама** – це пласке фотозображення, зібране з декількох кадрів.

Головним призначенням фотопанорами є:

- збільшення кута огляду, у випадках, коли об'єкт зйомки не потрапляє у єдиний кадр повністю;
- підвищення деталізації зображення.

Види 3D-панорам:

1) **сферичні** – кут огляду  $360^\circ$  по горизонталі та  $180^\circ$  по вертикалі. Без обмеження огляду, можна подивитися на всі боки, включаючи підлогу і стелю (рис. 2.1);

2) **циліндричні** – кут огляду  $360^\circ$  по горизонталі і близько  $150^\circ$  по вертикалі. Можна обернутися навколо точки зйомки, але не можна подивитися вертикально вниз і вертикально вгору (рис. 2.2);

3) **секторні** – кут огляду таких панорам менше  $360^\circ$  по горизонталі і до  $180^\circ$  по вертикалі. В даному випадку ми не отримуємо огляд в  $360^\circ$  навколо точки зйомки;

4) **кубічні** – зображення будується з шести ракурсів відповідно до боків куба (рис. 2.3).



Рисунок 2.1 – Приклад сферичної рівнокутної панорами



Рисунок 2.2 – Приклад циліндричної панорами 360°



Рисунок 2.3 – Приклад кубічної панорами

**Інтерактивна 3D-панорама** або **інтерактивна панорама 360°** – це інтерактивна система показу фотозображення, що дозволяє показати навколишній простір навколо точки зйомки з усіх боків.

Панорама може складатися мінімум з двох кадрів під час зйомки на спеціальні (панорамні) камери 360°, або із набагато більшої кількості початкових фотографій під час зйомки за допомогою обладнання з меншим кутом огляду, наприклад, камери зі змінною оптикою.

На площині 3D-панорама може бути представлена у вигляді еквідистантної проєкції. Це так звана рівнокутна розгортка.

Фотопанорами зазвичай створюються з декількох спеціально підготовлених фотографій, що перекриваються, за допомогою спеціальної програми, яка «зшиває» знімки в єдину панораму, видаляючи геометричні спотворення, що незмінно виникають. Щоб подібне зшивання виявилось можливим, слід дотримуватися таких важливих правил:

1) у фотоапараті повинна бути передбачена функція фіксації експозиції – тобто ручний режим установки витримки і діафрагми або режим скасування автоекспонування. Крім того, для цифрових апаратів обов'язковий ручний режим установки балансу білого;

2) для отримання якісної панорами при зйомці бажано використовувати штатив із панорамною головкою. Вона потрібна для того, щоб закріпити камеру таким чином, щоб вісь обертання проходила через нодальну точку (точку всередині об'єктива камери, де перетинаються промені світла, що йдуть до світлочутливої матриці). Це дуже важливо, оскільки при обертанні камери навколо нодальної точки відсутній паралакс об'єктів;

3) знімати кожен наступний кадр панорамної серії потрібно так, щоб він перекривав попередній приблизно на 30 %, а лінійне і кутове положення лінії горизонту залишалось на всьому наборі кадрів незмінним. Тобто обов'язково треба вирівнювати камеру за допомогою «рівнів». Крім того, місця «швів» між знімками краще розташовувати на некритичних (досить однотонних) місцях;

4) під час виконання зйомки необхідно стежити за освітленням і рівномірним розподілом світла по усім зображенням панорамної серії, інакше може виявитися, що один зі знімків буде темним, а решта – світлими. Щоб уникнути цього розумніше вибирати таку точку для зйомки, при якій джерело світла знаходилося б на одному зі «швів» майбутнього панорамного зображення;

5) знімати слід із максимально можливою глибиною різкості і в єдиному режимі. Тобто з однаковою експозицією і однаковим балансом білого (автоматичний режим не застосовувати!). Наведення різкості потрібно здійснювати вручну;

6) оскільки при проведенні зйомки ніколи не можна сказати напевно, що результат зшивання виявиться ідеальним, то краще заздалегідь зробити кілька наборів знімків для одного панорамного фото. Не виключено, що невелика зміна кута зору в одному з таких наборів виявиться краще.

Бажано проводити зйомку в форматі RAW (від англ. *raw* – «сирий») – це забезпечує додаткові можливості по обробці кожного кадру. Наприклад, дозволить у невеликих межах змінити експозицію.

До всього іншого слід враховувати ще й зовнішні умови. Тут потрібно звернути увагу на два моменти:

- 1) зміна освітленості;
- 2) наявність в кадрі рухомих об'єктів (хмар, хвиль, людей, автомобілів) або таких об'єктів, що гойдаються від вітру (гілок дерев).

У першому випадку, якщо неможливо встигнути зробити весь набір знімків до того, як характер освітленості зміниться (наприклад, сонце закриють хмари), то зйомку взагалі починати не варто. Такі вихідні знімки просто неможливо зшити в панораму. У другому випадку, при поєднанні знімків з подібними об'єктами виникають артефакти (так звані фантоми або об'єкти-приводи), позбутися від яких можна (хоча і не завжди) лише шляхом ретельного і дуже трудомісткого ретушування. Тому в таких випадках краще відкласти зйомку до більш сприятливого моменту.

Зшивання знімків у віртуальні панорами виконується в спеціальних програмах. Як правило, вони вміють зшивати в автоматичному, напівавтоматичному або ручному режимі. Автоматичне зшивання підійде, якщо камера не мала фронтального нахилу, а бічний нахил був однаковий для всіх знімків. Тобто використовувався штатив, а камера була ретельно вирівняна. При проведенні зйомки зі штатива, але з невідомими кутами нахилу камери рекомендується напівавтоматичне зшивання, при якому додатково буде потрібно вказати точки зшивання на одній або більше парах зображень. Якщо ж кути нахилу камери виявляться різними для всіх знімків (що завжди має місце при зйомці без штатива), прийнятний результат можна отримати тільки при ручному зшиванні.

Технологія зшивання у всіх програмах приблизно однакова. Спочатку потрібно завантажити початковий набір зображень і встановити порядок їх розміщення. У частині програм можна тут же провести необхідну корекцію зображень (зрозуміло, набагато краще, якщо корекція знімків буде зроблена задалегідь у спеціальних програмах, наприклад, у Photoshop). Потім знімки перетворюються до певної проєкції, наприклад, сферичної. Це необхідно, оскільки тільки в такому вигляді знімки можна зшивати.

Потім здійснюється стикування отриманих зображень між собою – автоматично або вручну, шляхом установки контрольних точок для кожної з пар знімків, що межують один з одним. Ця робота є дуже кропіткою, але нерідко дозволяє провести зшивання далеко не ідеальних знімків. Очевидно, що якість суміщення знімків безпосередньо залежить від точності виставлення контрольних точок.

На останньому етапі суміжні зображення змішуються з метою вирівнювання їх яскравості, контрастності і колірної тональності.

Результатом усіх цих дій стане отримання фотопанорами. Для її перетворення у віртуальну потрібно конвертувати панораму у відповідний формат, а для демонстрації віртуальної панорами у мережі «Інтернет» її потрібно буде вручну вмонтувати у файл наявної інтернет-сторінки, або згенерувати шаблонну вебсторінку (подібний функціонал є в деяких спеціалізованих програмних застосунках) [8].

#### **2.4 Завдання**

1. Виконайте серію фотографій обраної сцени, починаючи з одного кінця панорами до іншого. Забезпечте перекриття між сусідніми знімками на 20-30 %.
2. Завантажте отримані знімки на комп'ютер.
3. Відкрийте програму для створення панорам (наприклад, Hugin).
4. Імпортуйте фотографії до програми та вирівняйте їх, щоб вони утворювали панорамне зображення.
5. Налаштуйте параметри злиття, такі як вирівнювання ліній горизонту, яскравість і баланс білого для кожного кадру.
6. Об'єднайте знімки в одну панораму та збережіть остаточне зображення у форматі JPG або PNG.

#### **2.5 Критерії оцінювання**

Робота оцінюється за наступними критеріями:

- якість злиття фотографій і відсутність видимих меж між кадрами: 5 балів;
- коректність вирівнювання панорами та збереження горизонталі: 3 бали;
- якість оформлення роботи та дотримання інструкцій: 2 бали.

#### **2.6 Звітність**

До звіту слід включити:

- опис процесу зйомки й об'єднання зображень із вказанням використаного програмного забезпечення;
- проміжні знімки, використані для створення панорами;
- остаточне панорамне зображення та аналіз отриманого результату.

#### **Контрольні питання для захисту роботи**

1. Що таке панорамне зображення, і в яких випадках його доцільно використовувати?
2. Які існують види панорамних зображень і чим вони відрізняються?
3. Які основні етапи створення панорамного зображення?
4. Чому важливо забезпечити перекриття між сусідніми знімками під час зйомки для панорами?

5. Яке обладнання та програмне забезпечення можна використовувати для створення панорам?
6. Які типові помилки можуть виникнути при зйомці зображень для панорами, і як їх уникнути?
7. Як відбувається процес зшивання зображень, і які алгоритми можуть при цьому використовуватися?
8. Як впливає на якість панорами правильне налаштування експозиції і балансу білого?
9. Чим відрізняються «циліндрична» і «сферична» проєкції панорам, і в яких випадках кожна з них застосовується?
10. Які труднощі можуть виникнути при створенні панорами і як їх вирішувати?

## Практична робота № 3

### Фотограмметричний аналіз зображення

#### 3.1 Мета роботи

Навчитися створювати тривимірні об'єкти з використанням фотограмметричних методів аналізу зображень, отриманих із різних ракурсів, та програмного забезпечення для побудови 3D-моделей.

#### 3.2 Обладнання та програмне забезпечення

Цифрова камера або смартфон для зйомки фотографій об'єкта.

Комп'ютер із встановленим програмним забезпеченням для фотограмметрії (наприклад, VisualSFM, Meshroom, Metashape або інші).

#### 3.3 Теоретичні відомості

**Фотограмметрія** – це метод отримання тривимірної інформації про об'єкт шляхом аналізу двовимірних зображень, зроблених із різних позицій (рис. 3.1). Шляхи отримання фотозображень можуть бути найрізноманітнішими. Від аерофотозйомки за допомогою дрона до наземної зйомки з використанням автомобіля або навіть ручної зйомки на планшет або телефон.

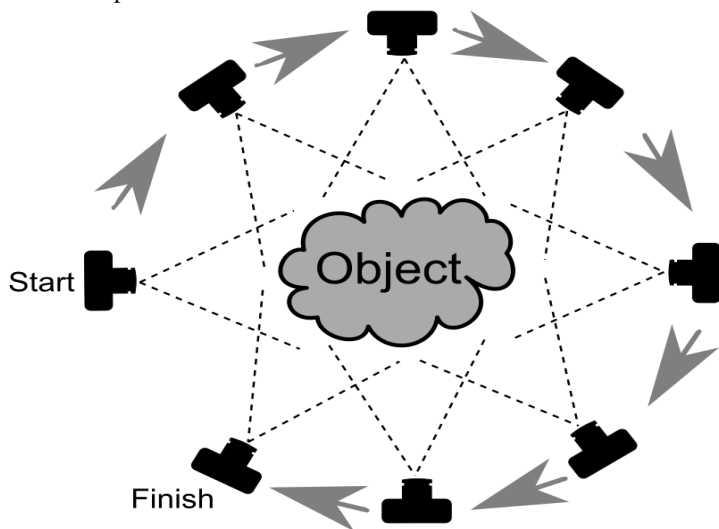


Рисунок 3.1 – Типовий маршрут зйомки для отримання вихідних фотосканів просторового об'єкта

Під час фотограмметричного аналізу набору фотографій (фотосканів) інформація про кожну фотографію записується в спеціальний файл:



висота, кут повороту камери, дані довготи і широти. Програма використовує технології машинного зору і фотограмметрії для знаходження спільних точок на багатьох фотографіях. У результаті для кожного пікселя на фотографії знаходиться колірна відповідність на інших фотографіях. Кожна відповідність стає **ключовою точкою**. Якщо ключова точка знайдена на трьох і більше фотографіях, програма будує цю точку в тривимірному просторі. Чим більше таких точок, тим краще визначаються координати точки в просторі. Отже, чим більше перетинів між фотографіями, тим точніше буде просторова модель. Перетин від 60% до 80% є оптимальним. Просторові координати кожної точки обчислюються **методом тріангуляції**: від кожної точки зйомки вибраного фото-зображення автоматично проводиться лінія зору, і їх перетин дає шукане значення.

Приклад такої тріангуляції наведено на рис. 3.2. Спільні точки P і Q визначені на кожному зображенні. Лінію зору або промінь можна побудувати від місця розташування камери до точки на об'єкті. Саме перетин цих променів (тріангуляція) визначає тривимірне розташування точки.

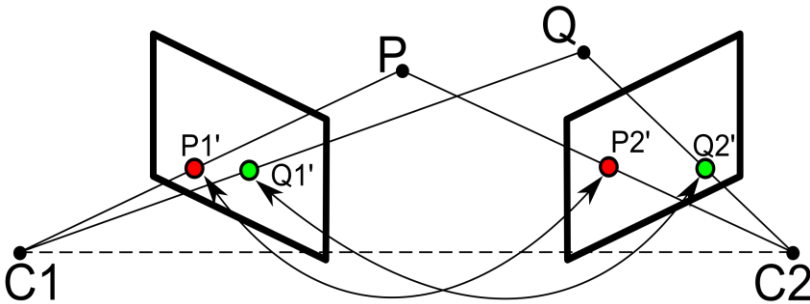


Рисунок 3.2 – Спільні точки P і Q визначені методом тріангуляції

Крім того, в фотограмметрії застосовуються алгоритми, метою яких є мінімізація суми квадратів множини помилок. Зазвичай для вирішення використовують алгоритм Левенберга-Марквардта (або метод зв'язок), заснований на вирішенні нелінійних рівнянь методом найменших квадратів. У процесі обробки фотографій створюється розширена хмара точок (сукупність всіх 3D-точок), яка використовується для генерування поверхні, складеної з полігонів. На закінчення обчислюється просторовий дозвіл і визначається, які пікселі на фотографії відповідають якому полігону. Для цього 3D-модель розгортається в площину і потім просторове положення кожної її точки ставиться у відповідність оригінальної фотографії для визначення кольору.

Для досягнення найбільш якісного результату під час фотограмметрії слід дотримуватися таких порад:

1) не обмежуйте кількість фотозображень, але для обробки більшої кількості зображень буде потрібна більша обчислювальна потужність, чи більше часу;

2) використовуйте максимально доступний просторовий дозвіл;

3) кожна точка поверхні сцени повинна бути чітко видна принаймні на двох високоякісних зображеннях. Тут працює правило «чим більше, тим краще», і потрібно прагнути хоча б до трьох зображень, тому що для отримання результатів більшість фотограмметричних програм використовує обрахунок тріангуляції;

4) завжди переміщайтеся під час зйомки. Стоячи на одній точці, можливо отримати тільки панораму, яка нічим не допоможе створенню 3D-моделі, і навіть внесе в фотоскан помилки. Переміщайтеся навколо об'єкта по колу, прагнучі до 80% накладення між фотографіями;

5) не міняйте точку огляду більше, ніж на 30° за один раз;

6) почніть зі зйомки всього об'єкта, рухайтесь навколо нього, а потім фокусуйтеся на його деталях. Наближайтесь не різко, а поступово;

7) завершуйте маршрути. Під час зйомки таких об'єктів як статуї, будівлі та подібних до них, потрібно завжди рухатися навколо них і закінчувати в тому ж місці, звідки почали;

8) не зупиняйтесь на одному обході, зробіть кілька з різної висоти;

9) повертайте камеру (горизонтальне і вертикальне переміщення забезпечує краще калібрування);

10) довіряйте своїм інстинктам, експериментуйте і не бійтеся порушувати правила, якщо це потрібно.

### **3.4 Завдання**

1. Виберіть об'єкт для фотограмметричного аналізу (невеликий, статичний об'єкт із чіткою текстурою підходить найкраще).

2. Виконайте серію знімків об'єкта під різними кутами, щоб покрити його з усіх сторін. Забезпечте перекриття між знімками близько 60-80%.

3. Завантажте отримані знімки на комп'ютер.

4. Відкрийте програмне забезпечення для фотограмметрії (наприклад, Meshroom).

5. Імпортуйте фотографії до програми та запустіть процес обробки зображень для побудови тривимірної моделі.

6. Налаштуйте параметри, такі як вирівнювання точок та якість текстуровання.

7. Перевірте отриману 3D-модель та за потреби внесіть корективи в налаштування.

8. Експортуйте остаточну модель у форматі OBJ, STL або інший підтримуваний формат.

### **3.5 Критерії оцінювання**

Робота оцінюється за наступними критеріями:

- якість 3D-моделі, точність відображення деталей та текстур: 5 балів;
- коректність виконання фотограмметричного аналізу та злиття зображень: 3 бали;
- якість оформлення роботи та дотримання інструкцій: 2 бали.

### **3.6 Звітність**

До звіту слід включити:

- опис об'єкта, обґрунтування вибору методики зйомки та процесу побудови 3D-моделі;
- фото об'єкта з різних ракурсів, що використовувались для побудови моделі;
- скріншоти проміжних етапів обробки зображень та фінальна 3D-модель;
- аналіз отриманої моделі, опис якості та можливих покращень.

### **Контрольні питання для захисту роботи**

1. Що таке фотограмметрія, і які її основні принципи?
2. Як визначається масштаб і орієнтація об'єкта при фотограмметричному аналізі?
3. Які види знімків потрібні для створення 3D-моделі об'єкта методом фотограмметрії?
4. Що таке «карта глибини», і яку роль вона відіграє у фотограмметрії?
5. Які програмні засоби можна використовувати для фотограмметричного аналізу зображень?
6. Що таке «Structure from Motion» (SfM), і як цей метод використовується у фотограмметрії?
7. Як можна підвищити точність 3D-моделі, створеної за допомогою фотограмметричного аналізу?
8. Які можливі помилки можуть виникати при створенні 3D-моделей, і як їх уникнути?
9. Які основні етапи обробки зображень для побудови 3D-об'єкта за допомогою фотограмметрії?
10. У яких сферах застосовується фотограмметрія, і які її переваги порівняно з іншими методами 3D-сканування?

## Практична робота № 4

### Побудова SIRDS (Single image Random Dot Stereogram)

#### 4.1 Мета роботи

Навчитися створювати SIRDS (Single Image Random Dot Stereogram) – стереограми з випадкових точок, які дозволяють побачити тривимірне зображення при спеціальній техніці фокусування очей.

#### 4.2 Обладнання та програмне забезпечення

Комп'ютер із графічним редактором або програмним забезпеченням для генерації SIRDS (наприклад, SIRD Generator, MathWorks MATLAB або Python).

#### 4.3 Теоретичні відомості

**Стереограмою** називається зображення або пара зображень, при перегляді яких створюється стереоефект (у спостерігача з'являється відчуття глибини зображення).

**SIRDS (Single image Random Dot Stereogram)** – це вид стереограм, в яких тривимірне зображення приховане серед випадкових точок.

Принцип роботи стереограми заснований на властивості людських очей оцінювати відстань до предметів. Стереозображення в людському мозку утворюється шляхом поєднання картинок, отриманих від обох очей, і кута, під яким сходяться лінії спостереження, що йдуть від очей до об'єкта. На підставі цих даних мозок і визначає ступінь віддалення об'єкта від спостерігача. Стереограма фактично обманює мозок, підставляючи йому для аналізу фальшиве зображення, складене з урахуванням особливостей людського сприйняття [9]. Створюється таке стереозображення за допомогою двох вихідних картинок. Одна – це карта **глибини об'єкта**, який повинен побачити глядач, а друга може бути простою **фоновою текстурою**, обраною на свій смак. Основна робота при створенні стереограми – правильна відмальовка карти глибини, яка уявляє собою чорно-біле зображення з 256 градаціями сірого. Чим світліше точка – тим «ближче» вона буде при перегляді готової стереограми. Приклад карти глибин наведено на рис. 4.1.

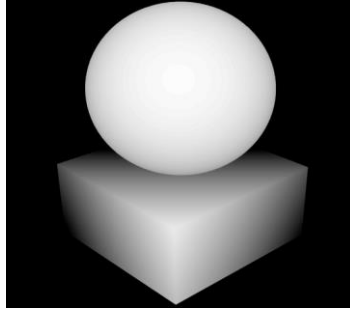


Рисунок 4.1 – Карта глибин

За допомогою комп'ютерного алгоритму Крістофера Тайлера [10] відбувається поєднання двох зображень для отримання тривимірного ефекту при розгляді картинки певними методами (рис. 4.2–4.3).



а)



б)

Рисунок 4.2 – SIRDS, побудована на базі текстури: а – текстура;  
б – приховані 3D-об'єкти (квітка та метелик)

Завдяки простоті принципу стереограми можна копіювати на ксероксі, друкувати на принтері і навіть надсилати факсом – стереоефект не губиться при тиражуванні.

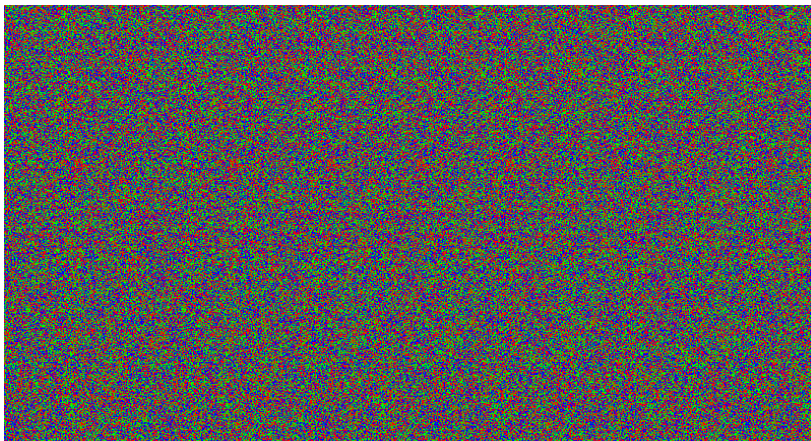


Рисунок 4.3 – SIRDS, побудована генерацією рандомних точок

Існує кілька методів розглядання стереограм, але найдієвіший з них – так званий **паралельний** [11]. При розгляданні необхідно розслабити очі, сфокусувавши їх на чому-небудь позаду зображення. Після цього просто переведіть очі назад на картинку, але постарайтеся не міняти фокуса. Оскільки при виготовленні стереозображення використовується текстура, що багаторазово повторюється, то на ній завжди можна відшукати елемент, що виділяється своїм візерунком. Вибравши два таких елемента, розташованих на одній горизонтальній лінії, ми отримуємо крок стереограми. Розслабивши очі, постарайтеся звести обидва ці елементи в один і деякий час дивіться на нього, поки поступово не почне проявлятися тривимірне зображення.

Другий метод називається **перехресним** і передбачає фокусування очей не позаду зображення, а перед ним. Для цього використовують будь-який підручний предмет на зразок ручки або олівця, який розташовують перед картинкою на відстані 20 см від кінчика носа. Вся складність методу в тому, що потрібно спробувати сфокусувати погляд одночасно на зображенні і на об'єкті перед ним. Оскільки методи протилежні, то і результат в обох випадках буде різним.

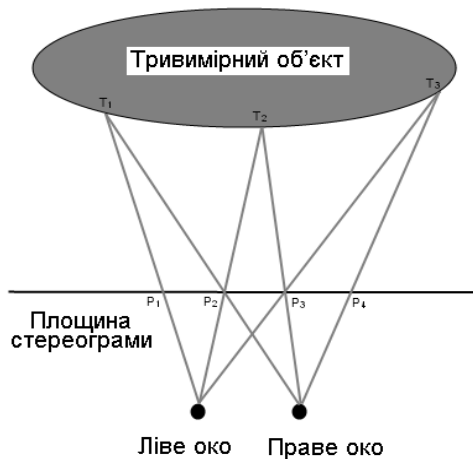
Стереограми зазвичай роблять, орієнтуючись на паралельний метод, але на деяких сайтах, присвячених цій тематиці, зображення містяться в обох варіантах виконання для комфортного перегляду всіма охочими. У будь-якому випадку, якщо людина бачить зображення якби «вивернутим навиворіт», то це означає, що вона застосовує не той метод. Кожен наступний раз дивитися на стереограми буде набагато легше, а незабаром і зовсім можна буде практично відразу розрізнити 3D-зображення. До того ж, офтальмологи визнали лікувальний вплив від розглядання «магічних картинок», це особливо допомагає людям, у яких робота пов'язана з постійною напругою очей (всім користувачам ПК). Такі тренування дозволяють зміцнити очні м'язи і позитивно впливають на зір.

Алгоритм побудови стереограми полягає в наступному: для кожного пікселя знаходиться найближча (щодо очей) точка серед точок об'єкта, проєкція яких потрапляє в даний піксель (іншими словами, береться вигода через даний піксель точка). Це робиться або шляхом трасування променів, що виходять з ока і проходять через кожен піксель, до контакту з фігурою (підходить для простих фігур на кшталт багатокутника або сфери), або шляхом обчислення значення деякої функції поверхні в точках координатної сітки. Дана процедура послідовно виконується для кожного ока. Причому, відстань до найближчої знайденої точки зберігається не у вигляді довжини відрізка або координати  $Z$ , а у вигляді координати кластера. А оскільки кластер задається координатами двох пікселів, то для даного пікселя досить зберігати координати пікселя, що є проєкцією кластера на друге око (причому для порівняння відстаней від ока до кластера досить порівнювати координати іншого пікселя). Таким чином, для кожного пікселя зберігаються тільки координати двох інших пікселів, що відповідають двом кластерам.

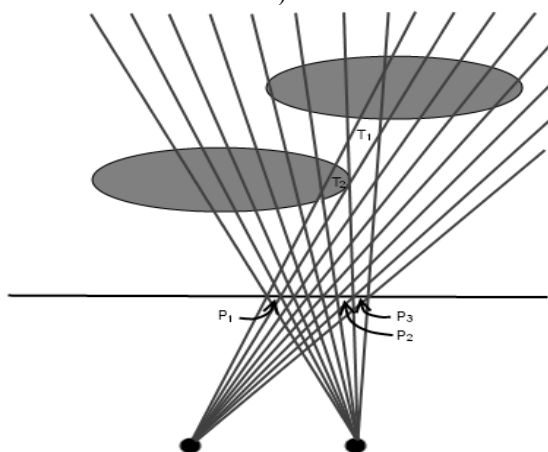
Пояснимо сказане на прикладі з рис. 4.4. Розглянемо кластери  $T1$  і  $T2$ , що мають загальну проєкцію  $P1$  для лівого ока рис. 4.4, б. Їх проєкції для правого ока – відповідно  $P3$  і  $P2$ . Але  $P2$  знаходиться лівіше, ніж  $P3$ . Отже, кластер  $T2$  ближче до лівого ока, ніж  $T1$ .

Використання кластерів зручно ще й тим, що дозволяє легко отримати одноколірні групи точок. Для пояснення знову звернемося до рис. 4.4, б. Для  $P1$  координата найближчого кластера для лівого ока задається у вигляді пари  $(P1, P2)$ . Для  $P2$  координата найближчого кластера для правого ока – теж  $(P1, P2)$ . Це означає, що очі через пікселі  $P1$  і  $P2$  бачать загальний кластер, а отже, пікселі  $P1$  і  $P2$  відносяться до однієї одноколірної групи. Для  $P3$  координата найближчого кластера для правого ока –  $(P1, P3)$ , що не збігається з координатою найближчого

кластера для лівого ока для  $P1$ . Тобто кластер  $(P1, P3)$  закритий від лівого ока ближчим кластером, а пікселі  $P1$  і  $P3$  відносяться до різних одноколірних груп (піксель  $P3$  є крайнім у своїй групі). Одному пікселю відповідає не більше одного кластера для кожного ока, а одному кластеру – не більше одного пікселя для кожного ока, що робить алгоритм розбиття на одноколірні групи простим.



а)



б)

Рисунок 4.4 – До алгоритму побудови стереограми: а – принцип роботи SiRDS; б – побудова SiRDS



Залишилося вибрати кольори для одноколірних груп. Їх можна вибрати або випадковим чином, або на основі фонового зображення (причому фонове зображення не повинно мати повторювані частини).

Відстань між повторюваними частинами стереограми задає глибину об'єктів (чим відстань більше, тим більш віддаленим виглядає об'єкт). Різниця у відстані всього в один піксель вже дає помітну відмінність у глибині. Дану проблему можна вирішити, або збільшивши роздільну здатність пристрою, або модифікувавши алгоритм.

#### **4.4 Завдання**

1. Визначте об'єкт, який треба відобразити у вигляді стереограми. Створіть для нього карту глибини, де світліші області позначатимуть об'єкти ближче до спостерігача, а темніші – далі від нього.

2. Виберіть метод генерації SIRDS. Це може бути:

- програмування на Python або MATLAB для автоматичного генерування зображення на основі карти глибини;
- використання спеціального програмного забезпечення або онлайн-інструментів для створення SIRDS.

3. Згенеруйте випадкове поле точок, яке буде основою для стереограм.

4. Використовуючи карту глибини, зміщуйте точки у випадковому полі відповідно до значень глибини. Це створить паралакс, який буде сприйматися як 3D-зображення при правильному фокусуванні.

5. Збережіть згенеровану SIRDS у форматі PNG або JPG.

#### **4.5 Критерії оцінювання**

Робота оцінюється за наступними критеріями:

- якість отриманого SIRDS зображення та здатність бачити прихований 3D-об'єкт: 5 балів;
- коректність виконання інструкцій і налаштування параметрів: 3 бали;
- оформлення звіту та відповідність структури: 2 бали.

#### **4.6 Звітність**

До звіту слід включити:

- опис обраного методу побудови стереограми та інструментів, які було використано;
- карту глибини, що використовувалась для генерації SIRDS;
- отримане SIRDS зображення;
- аналіз отриманого результату та рекомендації щодо покращення.

**Контрольні питання для захисту роботи**

1. Що таке SIRDS (Single Image Random Dot Stereogram) і як створюється ефект тривимірного зображення?
2. Який принцип роботи SIRDS і чим він відрізняється від традиційних стереограм?
3. Яка роль випадкових точок у створенні SIRDS?
4. Що таке «карта глибини» (Depth Map) і як вона використовується при побудові SIRDS?
5. Які параметри карти глибини впливають на сприйняття тривимірності в SIRDS?
6. Які основні етапи побудови SIRDS і які інструменти для цього використовуються?
7. Як впливає на сприйняття SIRDS правильне налаштування відстані між точками?
8. Які технічні аспекти треба враховувати, щоб SIRDS було легко сприймати без спеціальних окулярів?
9. Які методи або програмне забезпечення можна використовувати для створення SIRDS?
10. Які проблеми можуть виникнути при створенні SIRDS і як їх уникнути?

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Craig A. B. Understanding augmented reality: Concepts and applications. Elsevier Science, 2013.
2. Virtual and Augmented Reality (VR/AR). Foundations and Methods of Extended Realities (XR). Springer International Publishing, 2022. 429 p.
3. Антонюк М. Віртуальна та доповнена реальність: як нові технології надихають вчитися. URL: <https://osvitoria.media/opinions/virtualna-ta-dopovnena-realist-yakoyu-mozhe-buty-suchasna-osvita/> (дата звернення: 26.08.2024).
4. Vilar E., Filgueiras E., Rebelo F. Virtual and augmented reality for Architecture and design. Taylor & Francis Limited, 2024. 228 p.
5. Parisi T. Learning virtual reality: Developing immersive experiences and applications for desktop, web, and mobile. 1st ed. O'Reilly Media, 2015.
6. Перспективи та можливості технологій віртуальної та доповненої реальності. LemonSchool: ІТ-освіта : вебсайт. Опубл. 08.01.2024. URL: <https://lemon.school/blog/perspektyvy-ta-mozhlyvosti-tehnologij-virtualnoyi-ta-dopovnenoyi-realnosti> (дата звернення: 26.08.2024).
7. Gerhard D., Norton W. J. Virtual reality usability design. CRC Press, 2022. 398 p.
8. Jerald J. The VR book: Human-centered design for virtual reality. ACM, 2015. 523 p. DOI:10.1145/2792790.
9. Єфімов Д. В. Використання доповненої реальності (AR) в освіті. *Вісник Запорізького національного університету*. 2021. Т. 2, № 1. С. 219–225. DOI: 10.26661/2522-4360-2021-1-2-34.
10. Tyler C. W. Absolute distance from perspective. *Perception*. 2018. Vol. 47, No. 6. P. 581–584. DOI: 10.1177/0301006618774625.
11. Стереокартинки для тренування зору. Astravisus – центр зору: вебсайт. URL: <http://astravisus.rv.ua/article/stereokartinki-dlya-trenuvannya-zoru-96.html> (дата звернення: 22.11.2024).

*Виробничо-практичне видання*

**Методична серія. Випуск 454**

***Віталій НІКОЛЬСЬКИЙ,  
В'ячеслав СТАРЧЕНКО***

# **Технології віртуальної та доповненої реальності**

Методичні рекомендації до виконання  
практичних робіт

---

Редактор *О. Михайлова*

Комп'ютерна верстка, дизайн обкладинки *К. Гросу-Грабарчук*  
Друк *С. Волинець*. Фальцювально-палітурні роботи *О. Мішалкіна*.

Підп. до друку 21.01.2025

Формат 60х84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Папір офсет.

Гарнітура «Times New Roman». Друк ризограф.

Ум. друк. арк. 1,6. Обл.-вид. арк. 0,9.

Тираж 50 пр. Зам. № 6927.

Видавець і виготовлювач: ЧНУ ім. Петра Могили.

54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.

Тел.: 8 (0512) 50–03–32, 8 (0512) 76–55–81, e-mail: rector@chmnu.edu.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6124 від 05.04.2020.