

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації
(повна назва)

Кафедра Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
(позначення документа)

Дослідження впливу сторонніх факторів при використанні методу
фотограмметрії
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи МІМ-22-2
Дмитро СОЛОДОВ
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Медіаінженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник ас. Ярослав СИДОРОВ
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Володимир КАРТАШОВ
(прізвище, ініціали)

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації
Кафедра Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма "Медіаінженерія"

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Солодову Дмитру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження впливу сторонніх факторів при використанні методу фотограмметрії

затверджена наказом по університету від " 20 " _____ 10 _____ 2023 р. № 1224 Ст

2. Термін подання студентом роботи 08.01.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

1. Провести аналіз засобів, технологій та методів, які використовуються для фотосканування об'єктів.

2. Провести аналіз методології обробки даних за допомогою програмного продукту Agisoft Metashape Profession

3. Створення фотограмметричної моделі людини

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

ВСТУП

1. Аналітичний огляд засобів, технологій та методів, які використовуються для фотосканування об'єктів

2. Аналіз методології обробки даних за допомогою програмного продукту Agisoft Metashape

3. Створення фотограмметричної моделі людини

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням обов'язкових креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій:

1. Постановка задачі; 2. Актуальність дослідження; 3. Вибір типів фону;

4. Кількість та розташування фотознімків; 5. Аналіз тривалості обробки; 6. Результат побудови розрідженої хмари точок; 7. Аналіз кількості точок в розрідженій хмарі точок;

8. Результат побудови щільної хмари точок; 9. Аналіз кількості точок в щільній хмарі точок;

10. Результат побудови полігональної моделі; 11. Аналіз кількості полігонів в моделі;

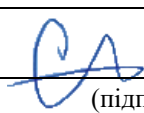
12. Результати створення 3D-моделей за різних умов; 13. Висновки.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналітичний огляд засобів, технологій та методів, які використовуються для фотосканування об'єктів	20.10.23–16.11.23	
2.	Аналіз методології обробки даних за допомогою програмного продукту Agisoft Metashape Profession	17.11.23–04.12.23	
3.	Створення фотограмметричної моделі	05.12.23–17.12.23	
4.	Графічна частина роботи	18.12.23–24.12.23	
5.	Перевірка керівником	25.12.23–28.12.23	
6.	Перевірка на академічний плагіат	02.01.24–03.01.24	
7.	Перевірка завідувачем кафедри, рецензування	04.01.24–05.01.24	

Дата видачі завдання _____ 20.10.2023 р. _____

Студент _____  Дмитро СОЛОДОВ _____

Керівник роботи _____  _____ ас. Ярослав СИДОРОВ _____
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи має: 80 с., 79 рис., 19 джерел.

ФОТОГРАММЕТРІЯ, ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, СТЕРЕОКОПІЧНА ПАРА ЗНІМКІВ, ФОТОФОН

Об'єкт дослідження – технологія фотограмметрії.

Предмет дослідження – обробка даних фотограмметрії для створення 3D моделей людини.

Мета кваліфікаційної роботи – дослідження впливу сторонніх факторів на процес створення тривимірних моделей людей методом фотосканування за допомогою програмного забезпечення Agisoft Metashape Professional. Робота спрямована на вирішення завдань такого характеру:

1. Дослідження та аналіз існуючих методів фотосканування людей та їх обмежень.
2. Розробка алгоритмів та методів, адаптованих до фотосканування людей в Agisoft Metashape Professional.
3. Здійснення експериментальних досліджень для оцінки точності та якості отриманих тривимірних моделей.
4. Впровадження отриманих результатів у практику для різноманітних застосувань, таких як віртуальна реальність, медична діагностика, реконструкція людини для кіно- та відеопродукції та інші.

Через те що неможливо визначити вплив окремих джерел помилок бо характер дії кожного джерела змінюється залежно багатьох чинників. Можлива також дія невідомого джерела. Задача дослідження впливу сторонніх факторів на процес створення тривимірних моделей людей методом фотосканування є актуальною та полягає в аналізі можливостей фотосканування людей з використанням сучасного програмного забезпечення Agisoft Metashape Professional.

ABSTRACT

The explanatory note for the qualification work consists of 79 pages, 79 figures, and 19 sources.

PHOTOGRAMMETRY, DIGITAL TECHNOLOGIES, STEREOSCOPIC PAIR OF IMAGES, PHOTOPHON

The object of the research is photogrammetry technology. The subject of the research is the processing of photogrammetry data to create 3D models of humans. The aim of the qualification work is to investigate the influence of external factors on the process of creating three-dimensional models of people through the method of photo scanning using Agisoft Metashape Professional software. The work is aimed at solving tasks of the following nature:

1. Research and analysis of existing methods of human photo scanning and their limitations.
2. Development of algorithms and methods adapted for human photo scanning in Agisoft Metashape Professional.
3. Conducting experimental research to assess the accuracy and quality of the obtained three-dimensional models.
4. Implementation of the obtained results in practice for various applications, such as virtual reality, medical diagnostics, human reconstruction for film and video production, and others.

Due to the impossibility of determining the impact of individual error sources, as the nature of each source's action changes depending on many factors, the influence of unknown sources is also possible. The task of investigating the influence of external factors on the process of creating three-dimensional models of people through photo scanning is relevant and involves analyzing the possibilities of photo scanning people using modern Agisoft Metashape Professional software.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

3D – тривимірний простір;

CAD – Computer-Aided Design;

CV - Control Vertex;

DEM – Digital elevation mode – Цифрова модель рельєфу;

GPS – Global Positioning System – система глобального позиціювання;

ISO – світлочутливість фотокамери;

P – Point;

RAW – формат даних;

SSD – Solid-State Drive – твердотілий накопичувач;

TIN – Triangulation Irregular Network – Нерегулярні триангуляційні мережі;

UV – осі координат площини розгортки;

ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПЗЗ – прилад із зарядовим зв'язком;

ПК – персональний комп'ютер;

САПР – Системи Автоматизованого Проектування.

ЦФС – цифрова фотограмметрична система

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
Вступ.....	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗАСОБІВ, ТЕХНОЛОГІЙ ТА МЕТОДІВ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ФОТОСКАНУВАННЯ ОБ’ЄКТІВ	9
1.1 Фотограмметрія та її застосування у різних галузях діяльності людини	9
1.2 Види зйомок.....	10
1.3 Знімальні системи	12
1.4 Стереоскопічне спостереження та вимір знімків.....	12
1.4.1 Монокулярний та бінокулярний зір	12
1.4.2 Стереопара та стереоскопічна модель	15
1.4.3 Умови отримання стереопари.....	17
1.5 Цифрова фотограмметрична система.....	18
1.6 Джерела помилок фотограмметричних вимірів.....	18
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ	21
2.1 Опис умов експерименту.....	21
2.1.1 Вибір типів фону	21
2.1.2 Кількість та розташування фотознімків.....	21
2.1.3 Підготовка та характеристики наборів зображень	21
2.2 Методологія обробки даних за допомогою Agisoft Metashape.....	22
2.3 Результати для різних умов.....	25
3 АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ ДАНИХ	60
3.1 Аналіз експериментальних даних за тривалості обробки.....	60
3.2 Аналіз кількості Tie Points.....	61
3.3 Аналіз кількості Point Cloud.....	63
3.4 Аналіз кількості Model Faces	65
ВИСНОВКИ.....	67
Додатки.....	71
ДОДАТОК А.....	72
ДОДАТОК Б	80

ВСТУП

Фотограмметрія людини – сучасна інноваційна галузь, що знаходить застосування у багатьох сферах науки та техніки. Фотограмметрична обробка цифрових даних, отриманих з різної апаратури, стає ключовим інструментом для реконструкції об'єктів, будь то антропогенні споруди або природні формації, а також для створення 3D-моделей людей для комп'ютерних ігор, кіноіндустрії та мета всесвіту [1]. Фотограмметрія має значний потенціал у забезпеченні топографічних даних, визначенні просторових координат точок, побудові цифрових моделей поверхні, а також у створенні текстурованих моделей місцевості та ортофотопланів [2].

Обробка знімків у фотограмметрії включає ряд послідовних операцій, які базуються на принципах проєктивної геометрії, однорідних координатах та фотометричній обробці зображень. Серед цих операцій важливими є вибір та ототожнення відповідних точок на знімках, побудова фотограмметричних моделей, зрівняння координат точок мережі, а також побудова цифрових та текстурованих моделей. Фотограмметрія вражає своєю точністю вимірювань, високим ступенем автоматизації та об'єктивністю результатів. Крім того, вона виявляється дуже продуктивною, оскільки вимірюються не самі об'єкти, а їх зображення, і дозволяє виконувати дистанційні вимірювання в небезпечних умовах [2].

Фотограмметрія стає все більш розвиненою галуззю завдяки прогресу у комп'ютерному зорі, обробці зображень та штучному інтелекту. Застосування комп'ютерного зору та алгоритмів обробки зображень дозволяє автоматично розпізнавати точки на фотографіях, встановлювати їх взаємне положення та відтворювати 3D-структуру об'єктів. Це робить можливим швидке та точне моделювання об'єктів у тривимірному просторі.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗАСОБІВ, ТЕХНОЛОГІЙ ТА МЕТОДІВ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ФОТОСКАНУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ

Назва «фотограмметрія» походить від грецьких слів photos (світло), gramma (запис) та metroo (вимірюю), що у вільному перекладі означає вимірювання зображень об'єктів, записаних за допомогою світла [2]. Якщо хочуть наголосити, що при вимірі використовувалося об'ємне зображення об'єкта, то на основі грецького слова stereo (просторовий) такі виміри називають стереоскопічними або стереофотограмметричними.

1.1 Фотограмметрія та її застосування у різних галузях діяльності людини

Фотограмметрія дозволяє визначити за знімками досліджуваного об'єкта його форму, розміри та просторове положення у заданій системі координат, а також його площу, об'єм, різні перерізи на момент зйомки та зміни їх величин через заданий інтервал часу [3].

Фотограмметрична обробка знімків має такі переваги [4]:

- 1) за знімками об'єкта можна отримати числову інформацію про нього такої густоти, якої практично неможливо досягти за безпосередніх вимірів;
- 2) числову та графічну інформацію про об'єкт можна отримати, не вступаючи з ним у контакт, коли об'єкт недоступний для людини або знаходиться в середовищі, небезпечному для його життя;
- 3) оператор-фотограмметрист знаходиться у сприятливих для людини кабінетних умовах.

З урахуванням цього фотограмметрію використовують у різних галузях науки, техніки та виробництва. Наприклад [4]:

- для визначення деформацій споруд та їх окремих частин, що відбуваються в ході експлуатації та з часом. Наприклад, порівняння вимірювань, проведених по стереопарах моста або підйомного крана, отриманих до їх навантаження,

під час навантаження та після, дозволяє визначити їх деформації в залежності від ваги навантаження;

- для визначення характеристик об'єктів, що рухаються: транспортних засобів, ковша екскаватора, ракет, снарядів, елементарних частинок при проведенні ядерних досліджень тощо;
- при пошуках залізниць та автомобільних доріг, трас трубопроводів, ліній електропередач та інших лінійних об'єктів;
- при гідротехнічних, гляціологічних, геологічних, географічних дослідженнях та дослідженнях;
- під час реставрації пам'яток архітектури, скульптурних монументів, унікальних предметів;
- для фіксації та складання плану дорожньо-транспортної пригоди або місця злочину;
- для визначення знімків, отриманих в електронному мікроскопі, характеристик мікрорельєфу, наприклад, полірованих поверхонь.

Можна навести й інші приклади використання фотограмметрії.

1.2 Види зйомок

Залежно від того, в якому середовищі проводиться зйомка, розрізняють аеро-, наземну, космічну та підводну зйомки [5]. Крім того, види зйомок розрізняють залежно від того, в яких діапазонах електромагнітного та акустичного спектрів проводиться зйомка. Зйомку в межах електромагнітного випромінювання виробляють у повітряному та безповітряному середовищах, на довжинах хвиль приведених в таблиці 1.

Таблиця 1. Довжини хвиль електромагнітного випромінювання при зйомці

Діапазон	Область	Зона	Довжина хвилі у мкм	Вид зйомки
Радіо-			понад 1000	Радіо-локаційна
Оптичний	Інфрачервона	дальня	1000 – 7,00	Інфрачервона (теплова)
		середня	7,00 – 1,70	
		ближня	1,70 – 0,77	
	Видима	червона	0,77 – 0,62	Фотозйомка
		помаранчева	0,62 – 0,59	
		жовта	0,59 – 0,56	
		зелена	0,56 – 0,50	
		блакитна	0,50 – 0,48	
		синя	0,48 – 0,45	
	Ультрафіолетова	ближня	0,39 – 0,30	Ультрафіолетова
середня		0,30 – 0,20		
дальня		0,20 – 0,01		
Рентгенівський			10-2 - 10-5	Рентгенівська

Однак зйомку через атмосферу Землі можна проводити тільки на наступних довжинах хвиль, які пропускає атмосфера [6]:

- в оптичному діапазоні від 0,3 до 4,0 мкм, тобто. у ближній зоні ультрафіолетової області, у всіх зонах видимої області, у всій ближній і приблизно половині середньої зонах інфрачервоної області;
- у вузьких смугах другої половини середньої та приблизно половини дальньої зон інфрачервоної області: від 4,5 до 5,5; від 7,9 до 13,2; від 17 до 28; 34; 350; 460 мкм;
- у радіодіапазоні- Від 1 мм до 30 м.

1.3 Знімальні системи

Під час зйомки застосовують фотографічні, оптико-електронні та цифрові знімальні системи. Як приймач світлового потоку використовують фотоплівку, світлодіод, а в цифрових знімальних системах прилад із зарядовим зв'язком (ПЗЗ), який має форму матриці або лінійки [7].

Розрізняють дві форми запису зображення: аналогову та цифрову [8]. Цифрова форма запису дуже зручна для зберігання та обробки великих масивів зображень, має велику оперативність, так як на відміну від аналогового запису не потрібна фотохімічна обробка фотоплівки, відсутні процеси, пов'язані з виготовленням діапозитивів, якими виробляють фотограмметричні вимірювання. Зйомка та обробка зображень може відбуватися майже одночасно.

За принципами побудови зображення знімальні системи поділяються на кадрові та сканерні [9]. До кадрових систем відносяться фотокамери, у яких всі точки кадру фіксуються в один момент часу (у момент відкриття затвора) на площині центральної, перспективної проєкції, що забезпечує строгу геометрію побудови зображення.

Принцип роботи сканерних знімальних систем полягає в тому, що реєстрація світлового потоку, що йде від об'єкта, проводиться або рядково, або крапково.

При другому способі зображення буде виходити на площині у вигляді окремого знімка зі своїм центром проєкції, положення якого в просторі відрізнятиметься від положень інших центрів проєкції.

1.4 Стереоскопічне спостереження та вимір знімків

1.4.1 Монокулярний та бінокулярний зір

Фотограмметрична обробка знімків – вимірювання та дешифрування – поки неможлива без використання зору людини. Навіть у майбутньому, коли можливо буде вирішено завдання автоматичного оброблення знімків, за людиною залишаться контрольні операції за роботою приладів. У зв'язку з цим коротко

зупинимося на особливостях зору людини, яка може спостерігати предмети монокулярно та бінокулярно [10].

Монокулярний зір – спостереження об'єктів одним оком [11]. Зображення об'єкта будується на сітківці в перспективній центральній проекції за допомогою кришталіка, що забезпечує різкість зображення шляхом зміни своєї кривизни, що називається акомодацією. Сітківка ока складається з клітин - колб (близько 7 млн.) і паличок (до 130 млн.). Колбочки - органи денного зору, що дозволяють сприймати деталі та колір об'єкта. Палички мають дуже високу світлову чутливість і забезпечують спостереження в сутінках і вночі, проте погано передають деталі і колір об'єкта. Око сприймає електромагнітні коливання у видимій ділянці з довжинами хвиль 0,39 - 0,77 мкм (див. таблицю В.1). Проте максимум колірної чутливості посідає жовту зону (0,56 - 0,59 мкм), що відповідає середньої частини видимої області. Поле зору ока в горизонтальній площині дорівнює приблизно 150° , а у вертикальній площині - приблизно 120° .

Основна кількість колбочок зосереджена в жовтій плямі, розташованій у центральній частині сітківки [11]. Об'єкти, що спроектувалися на жовту пляму, спостерігаються найчіткіше. Жовта пляма має овальну форму, витягнуту в горизонтальній площині (2 мм), і її поле зору дорівнює 6 - 7° . У середині жовтої плями розташована центральна ямка, що має діаметр близько 0,4 мм (поле зору $1,3^{\circ}$) і що складається тільки з колбочок. Діаметр колб тут найменший і лежить в межах 1-5 мкм. Центральна ямка - найбільш чутливе місце ока і під час розгляду будь-якої точки об'єкта людина повертає око те щоб її зображення було у середині центральної ямки. Лінія, що проходить через центр кришталіка та середину центральної ямки, називається зоровою віссю. Відстань вздовж зорової осі від центру кришталіка до середини центральної ямки - фокусна відстань ока $f_0 \approx 17$ мм. Точка об'єкту, яку спрямована зорова вісь, називається точкою фіксації. Навколо неї утворюється поле ясної видимості, що визначається розміром центральної ямки.

При монокулярному зорі дві сусідні точки людина бачить окремо, якщо вони проєктуються деякі клітини сітківки, розділені нероздратованою клітиною.

Мінімальний кут, при якому людина бачить одним оком дві окремі точки, становить приблизно $45''$ і називається гостротою монокулярного зору першого роду. При такій гостроті зору на відстані найкращого зору (250 мм) людина бачить неозброєним оком дві точки, якщо відстань між ними буде більше $\frac{45'' \cdot 250 \text{ мм}}{206265''} \approx 0,055 \text{ мм}$, або 55 мкм. При спостереженні лінійних об'єктів мінімальний кут становить $20''$ і називається гостротою монокулярного зору другого роду. Підвищення гостроти зору в цьому випадку пояснюється тим, що лінія проектується на кілька клітинок, і тим самим підвищується її сприйняття головним мозком.

Бінокулярний зір- Спостереження об'єктів двома очима (рис. 1.1) [12].

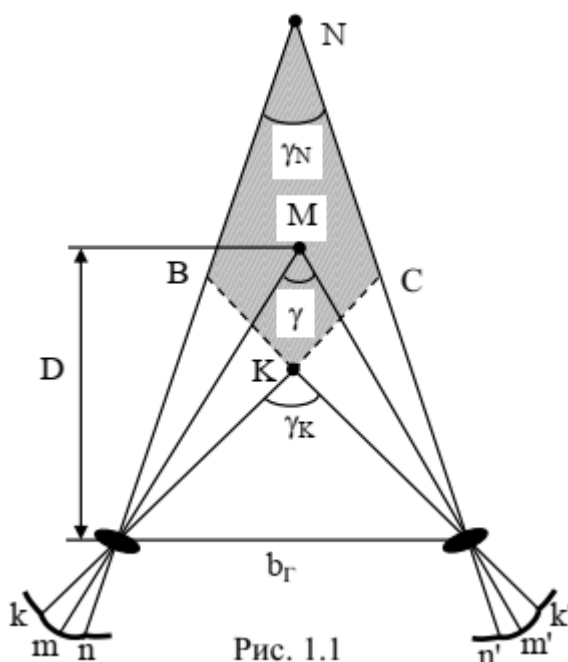


Рис. 1.1

Рисунок 1.1 – Схематичне представлення спостереження об'єктів двома очима [12]

Відстань між центрами кришталіків очей називається очним базисом b_{Γ} . Люди величина очного базису коливається не більше 55 - 72 мм при середньому значенні 64 мм. При розгляді об'єкта спостерігач вибирає точку фіксації (на малюнку точка M) і повертає очі так, щоб на неї були спрямовані осі обох очей. Кут γ , під яким перетинаються зорові осі, називається кутом конвергенції. Відстань точки D, очний базис b_{Γ} і кут γ конвергенції пов'язані залежністю:

$$D = \frac{b_{\Gamma}}{2tg(\gamma/2)} \approx \frac{b_{\Gamma}\rho}{\gamma},$$

де $\rho = 206265''$. При розгляданні точки на відстані найкращого зору кут конвергенції $\gamma_0 \approx 15^{\circ}$. Максимальна величина кута конвергенції при спостереженні найближчої точки дорівнює 45° . Кути (γ_k, γ_n) між променями, що проектують інші.

При розгляді точок K і N, що мають різні відстані щодо точки фіксації M, їх зображення проектується на сітківки лівого та правого ока по різні боки щодо зображення точки фіксації [12]. Дуги, розташовані зліва точки фіксації, вважаються позитивними, а справа - негативними. Різниці дуг ($m_k - m'k' = \sigma_k, m_n - m'n' = \sigma_n$) є фізіологічними паралаксами, які головний мозок перетворює на просторові образи. Позитивні фізіологічні паралакси (наприклад, σ_k) викликаються ближніми точками (точка K), а негативні (наприклад, σ_n) – дальніми точками (точка N). У цьому точки, спроектовані в центральні ямки очей, потрапляють у зону ясного сприйняття глибини, не більше якої чітко сприймається просторовий образ навколо точки фіксації. Наприклад, на рис. 1.1 навколо точки M фіксації зоною ясного сприйняття глибини буде ділянка, обмежена лініями, що з'єднують точки K, B, N і C (на малюнку ділянка заштрихована). Поза цією ділянкою точки об'єкта сприймаються подвійною вздовж очного базису, так як зображення точок виходять межі центральних ямок та його фізіологічні паралакси починають перевищувати 0,35 мм ($70'$). Для перевірки цього потрібно перед собою тримати на витягнутій руці авторучку і дивитися на якийсь предмет. Авторучка буде сприйматися ніби ручка двоїться. При перекладі погляду на авторучку віддалені предмети будуть двоїтися.

На закінчення слід зазначити, що людина має сприйняттям глибини лише базисної площини, тобто. Площини проведеної через очний базис та точки спостережень. За порушення цієї умови людина спостерігатиме двоїння точок у вертикальному напрямку.

1.4.2 Стереопара та стереоскопічна модель

Використання сприйняття людиною глибини при спостереженні та вимірі знімків засноване на тому, що знімки побудовані за тими ж законами

перспективної, центральної проекції, що й зображення на сітківках очей. Два знімки, на яких зобразився той самий об'єкт, називають стереоскопічною парою або скорочено стереопарою [13].

Припустимо, що з двох точок S_L і S_P (рис. 1.2), віддалених один від одного на відстані, що дорівнює очному базису b_G , були отримані знімки P_L та P_P фотокамерою з фокусною відстанню f , що дорівнює відстані найкращого зору d_0 .

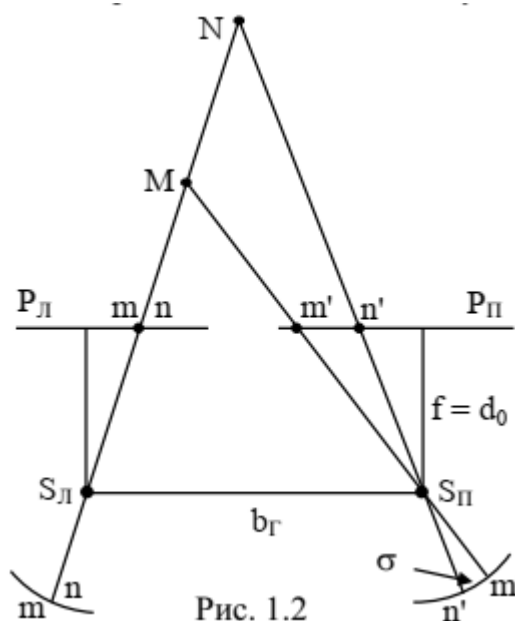


Рисунок 1.2 – Схематичне представлення спостереження стереопари двома очима [12]

Якщо ці знімки встановити перед очима людини в такі ж положення, в яких вони були під час зйомки, то точки знімків, що є зображеннями точок (M, N) об'єкта, проектується на сітківки очей (m, n і m', n') людини так, ніби він спостерігає цей об'єкт [13]. Різні відстань точок M і N викликають взаємні зміщення їх зображень на за величиною та знаком яких головний мозок будує об'ємний образ сфотографованого об'єкта. Об'ємне зображення, що спостерігається, називають стереоскопічною моделлю або стерео моделлю. Зображення точки об'єкта на лівому та правому знімках називають відповідними точками. Наприклад, зображення точки M - точки m та m', а зображення точки N - точки n і n'.

Реальні умови одержання знімків не відповідають параметрам зору людини. В результаті стерео модель не буде подібна до сфотографованого об'єкта. Її вертикальний масштаб $1:m_B$ відрізнятиметься від горизонтального масштабу $1:m$.

Іншою особливістю стерео моделі є те, що вона витягується у бік спостерігача при переміщенні голови людини вліво-вправо щодо стереопари. Видалення (наближення) стереопари до очей спостерігача викликає розтягування (стиснення) стерео моделі [14]. Невеликі розвороти знімків щодо один одного та щодо очей людини призводять до нахилів та розворотів стерео моделі у просторі. Наявні на знімках зміщення точок, викликані нахилами знімків та іншими причинами, призводять до деформації стерео моделі. Підсумовуючи сказане, слід зазначити, що стерео модель не є суворою подобою сфотографованого об'єкта. Так як на планових знімках зміщення точок, викликані різними причинами, мають порівняно невеликі величини, стерео модель, що спостерігається за цими знімками, дає, в цілому, правильне уявлення про рельєф місцевості.

1.4.3 Умови отримання стереопари

Для отримання стереопари необхідно виконати три умови [15].

- 1) Знімки мають бути отримані з різних точок простору. Умова є обов'язковою для отримання вимірювального стереозображення.
- 2) Різномасштабність знімків не повинна перевищувати 16%. Якщо на приладі можна змінювати масштаби зображень щодо один одного, то ця умова не є обов'язковою.
- 3) При фотографуванні об'єкта конвергенція головних оптичних осей знімальних систем не повинна перевищувати 15° . Зазначене значення відповідає куту конвергенції центральних оптичних осей очей під час розгляду точок з відривом найкращого зору. При фотозйомці плоских об'єктів кут конвергенції оптичних осей може бути і більшим, але зі збільшенням рельєфності об'єктів кут конвергенції не можна брати більшим, інакше на стерео моделі з'являться "мертві зони", в межах яких не буде спостерігатися об'ємне зображення. Крім

того, при великому куті конвергенції важко спостерігати стереоефект через великі перспективні спотворення.

1.5 Цифрова фотограмметрична система

ЦФС конструктивно представляє персональний комп'ютер, що серійно випускається (рис. 1.3), в пам'ять якого введені програми, що забезпечують виконання всіх фотограмметричних процесів, необхідних для створення цифрової 3D моделі за цифровими знімками [15].

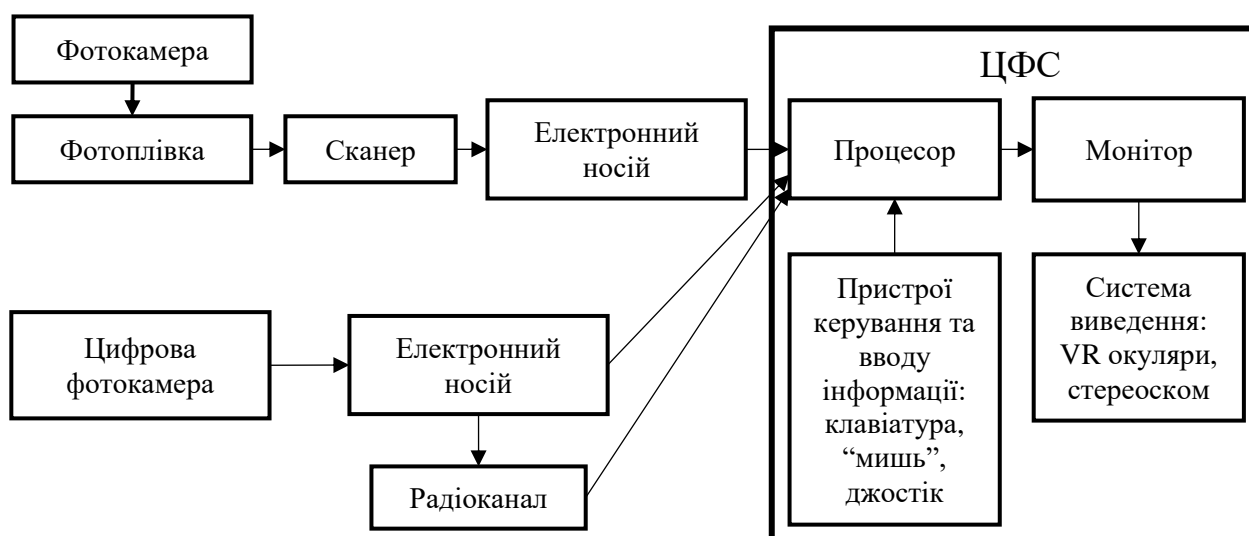


Рисунок 1.3 – Схема цифрової фотограмметричної системи [15]

Введення в ЦФЗ знімків можливе двома шляхами: або попередньо перетворивши фотознімок на цифрову форму за допомогою фотограмметричного сканера, або з цифрової фотокамери. З електронного носія цифрової фотокамери знімки можна передавати по радіоканалу під час зйомки або після зйомки переписати на комп'ютер.

1.6 Джерела помилок фотограмметричних вимірів

Помилки, що діють при фотограмметричних вимірах, можна об'єднати в п'ять груп залежно від загального джерела виникнення. Це помилки [17]:

1. знімка;
2. вимірювального приладу;
3. розпізнавання точок;
4. методики опрацювання;
5. опорних точок.

1. Основними джерелами помилок знімка є джерела, що викликають відхилення у положеннях точок на ньому від положень, що відповідають ідеальній центральній проекції [18].

2. У цифрових фотограмметричних систем власне комп'ютер не вносить помилок у вимірювання та обчислення. Помилки з'являються через нестрогість введених програм. Отже, у цих систем інструментальні помилки носять методичний характер [18].

3. Помилки, що виникають через неправильне розпізнавання точок і, відповідно, наведення вимірювальної марки на ці точки, можуть суттєво знижувати точність фотограмметричних вимірювань. Досвід показує, що для точних фотограмметричних робіт необхідно перед зйомкою виконати маркування точок на об'єкті зйомки. При цьому найкращий ефект у розпізнаванні точок буде досягнутий, якщо крапки будуть пофарбовані фарбою, що дає максимальне відображення світла в зоні спектру, для якої аберації у об'єктива фотокамери зведені до мінімуму. У цьому випадку забезпечуватиметься найбільша чіткість зображення замаркованої точки, і наведення на неї вимірювальної марки виконуватиметься з точністю 5-10 мкм [18].

4. Методичні помилки виникають через порушення суворої теорії обробки знімків. Чим більше введено відступів від суворої обробки, тим нижче точність кінцевого результату, але при цьому скорочується час обробки. Якщо потрібно високоточний результат, то обробку проводять за строгою теорією, хоча це й займає більше часу [18].

5. Помилки опорних точок враховуються при фотограмметричних вимірах залежно від цього, з якою точністю координати цих точок було визначено. Якщо ця точність вища за точність фотограмметричних вимірювань у 2-3 рази, то

координати опорних точок вважають безпомилковими. В іншому випадку остаточну точність фотограмметричних вимірювань визначають, підсумовуючи помилки опорних точок та фотограмметричних вимірювань [18].

Неможливо визначити вплив кожного джерела помилок окремо. З іншого боку, характер дії кожного джерела змінюється залежно багатьох чинників. Можлива також дія невідомого джерела. У зв'язку з цим у фотограмметрії методику обробки знімків будують таким чином, що після виключення з вимірювань основної частини систематичних помилок, що вносяться джерелами, дії яких досить добре описуються математичними залежностями, частину помилок, що залишилася, виключають як єдину помилку за допомогою спеціальної методики, званої калібруванням знімків.

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Опис умов експерименту

2.1.1 Вибір типів фону

У рамках експерименту були обрані три різновиди фону:

- рівномірне освітлення на білому фоні;
- рівномірне освітлення на чорному фоні;
- природне освітлення в кімнаті.

Кожен з цих варіантів дозволив досліджувати вплив різних умов освітлення та фону на якість та ефективність фотосканування людини за допомогою програмного забезпечення Agisoft Metashape Professional [19].

2.1.2 Кількість та розташування фотознімків

Для кожного типу фону було використано три різні набори фотознімків, які відрізнялись кількістю фотографій у кожному наборі. Кількість фотографій у наборах становила 250, 175 та 100, забезпечуючи різні рівні деталізації та обсягу даних для подальшої обробки та аналізу.

2.1.3 Підготовка та характеристики наборів зображень

Кожен набір фотознімків був створений шляхом обходження об'єкта на 10 різних рівнях висоти, забезпечуючи повноту обзору для програмного забезпечення Agisoft Metashape Profession. Кожна фотографія була взята з однаковим кроком кута, що склали $14,4^\circ$, 20° , 36° відповідно, та відстанню, що дозволило забезпечити об'єктивність умов експерименту.

2.2 Методологія обробки даних за допомогою Agisoft Metashape

Для імпорту фотографій в Agisoft Metashape, виберіть "Add Photos". У відкритому вікні оберіть потрібні фотографії. Вікно додавання фото показано на рисунку 2.1.

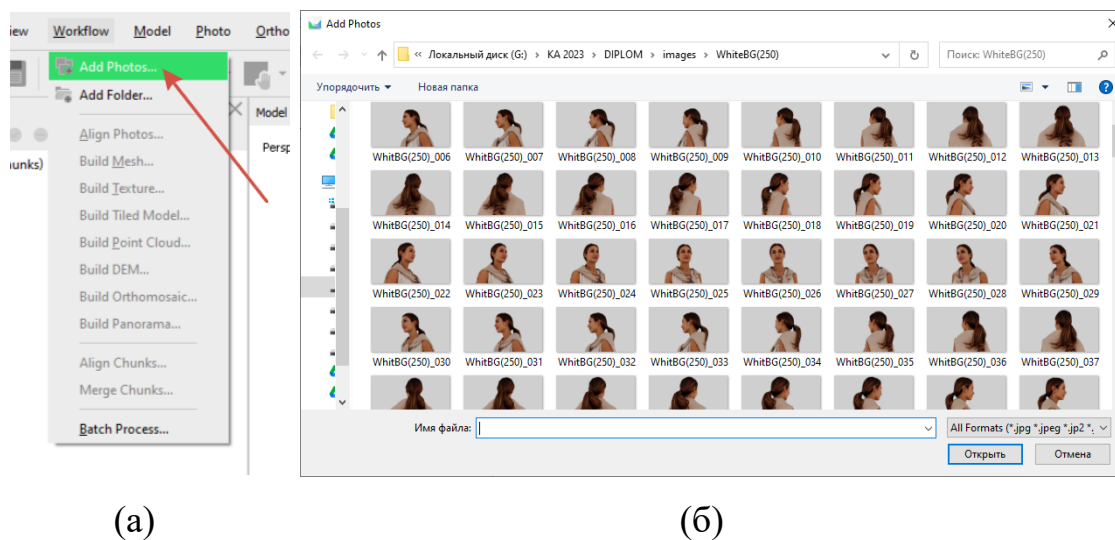


Рисунок 2.1 – а) меню додавання фото, що випадає;

б) вікно додавання фото

Перед обробкою фотографій важливо провести аналіз імпортованих зображень. Натисніть правою кнопкою миші на будь-яку фотографію і виберіть "Estimate Image Quality...", як показано на рисунку 2.2.(а). У параметрах, показаних на рисунку 2.2.(б), виберіть "All cameras" для аналізу всіх зображень.

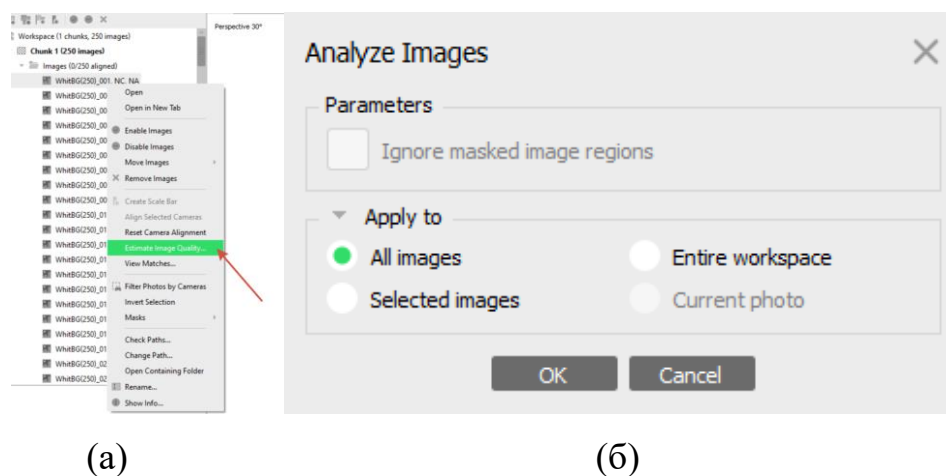
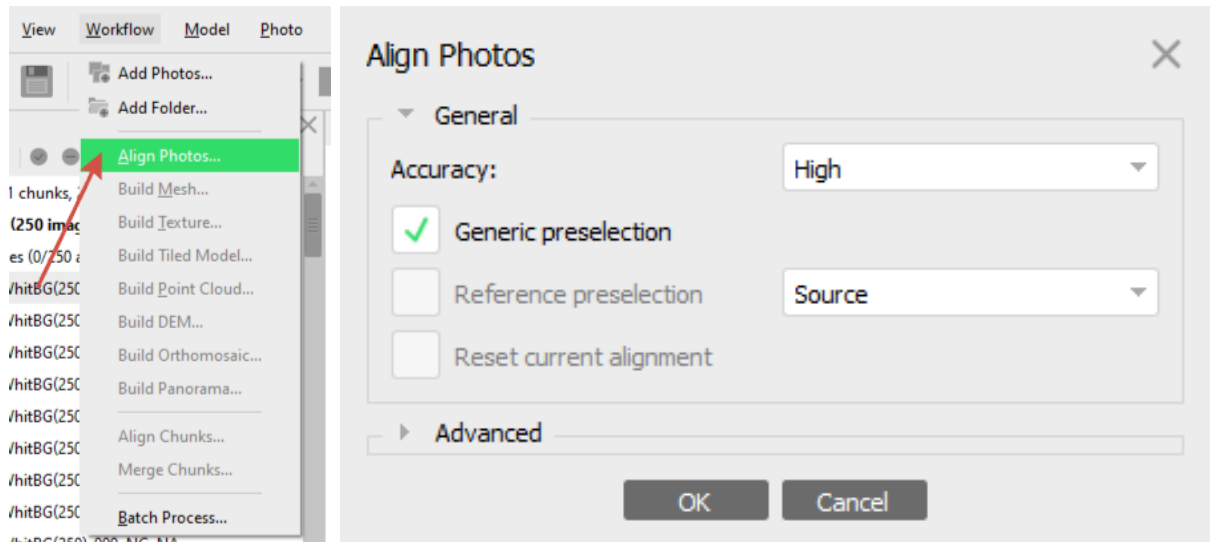


Рисунок 2.2 – а) меню аналізу фото, що випадає;

б) вікно налаштувань аналізу

Після цього виконайте вирівнювання зображень. Оберіть "Align Photos..." у меню "Workflow", як показано на рисунку 2.3.(а). У відкритому вікні встановіть параметри для точного вирівнювання, як показано на рисунку 2.3.(б).



(a)

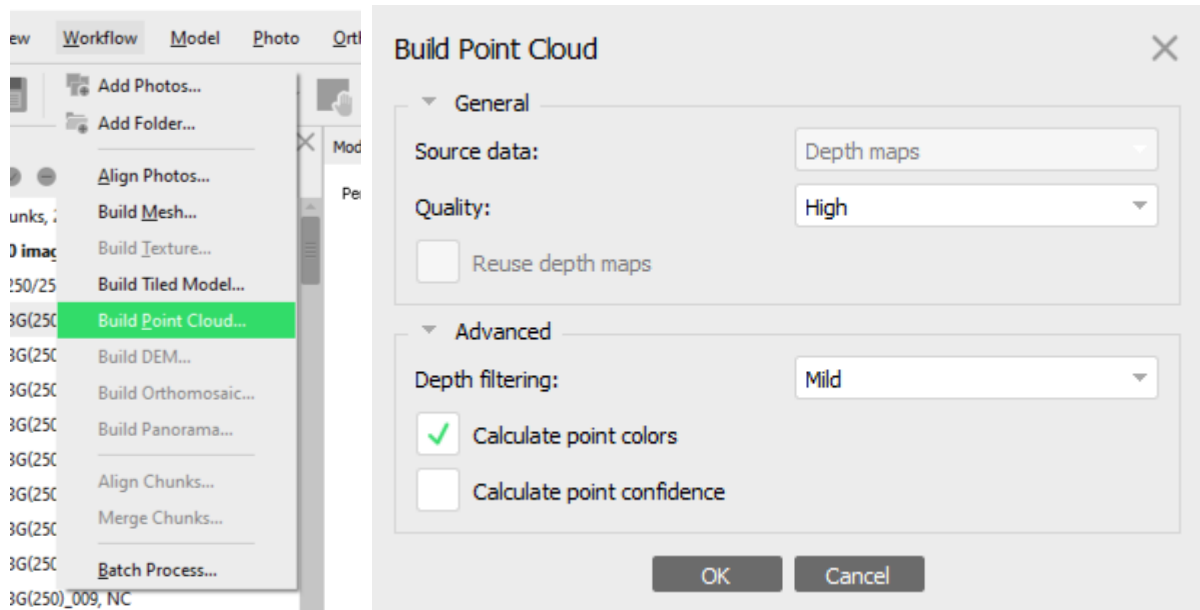
(б)

Рисунок 2.3 – а) меню вирівнювання фотографій, що випадає;

б) вікно налаштувань вирівнювання фотографій

Після обчислень програма почне вирівнювання зображень, яке триватиме деякий час. Результатом буде розріджена хмара точок, яка відобразиться на екрані.

На основі положень камер, розрахованих на першому етапі обробки та використовуваних знімків, Metashape може побудувати щільну хмару точок. Оберіть "Build Point Cloud" у меню "Workflow", як показано на рисунку 2.4.(а). Налаштуйте параметри для досягнення балансу між швидкістю обробки та якістю, як показано на рисунку 2.4.(б).



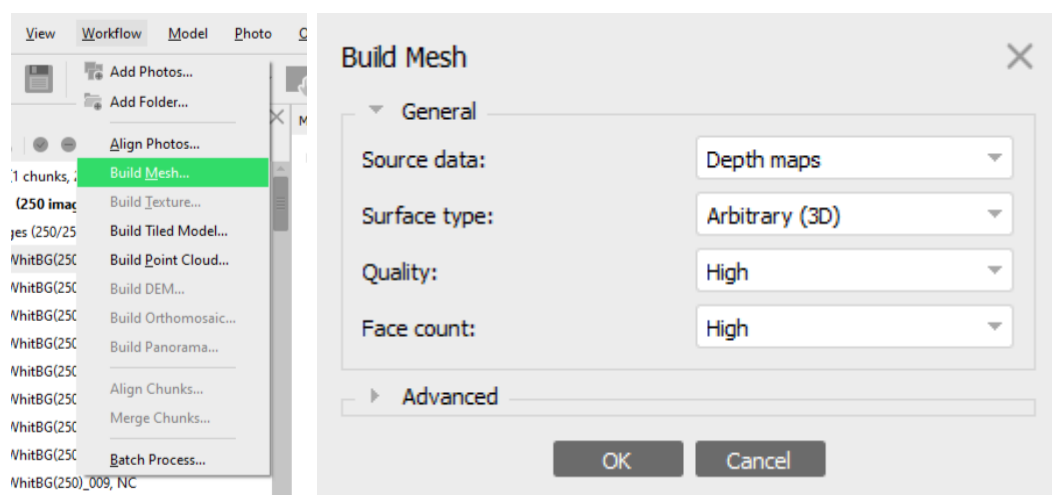
(a)

(б)

Рисунок 2.4 – а) меню побудови щільної хмари точок, що випадає;

б) вікно налаштувань побудови щільної хмари точок

Після обчислень можна побачити сформовану щільну хмару. Далі потрібно створити полігональну модель. Виберіть "Build Mesh" у меню "Workflow", як показано на рисунку 2.5.(а). Оберіть параметри quality та face count, уникаючи надто великих і деталізованих 3D моделей (рисунок 2.5.(б)).



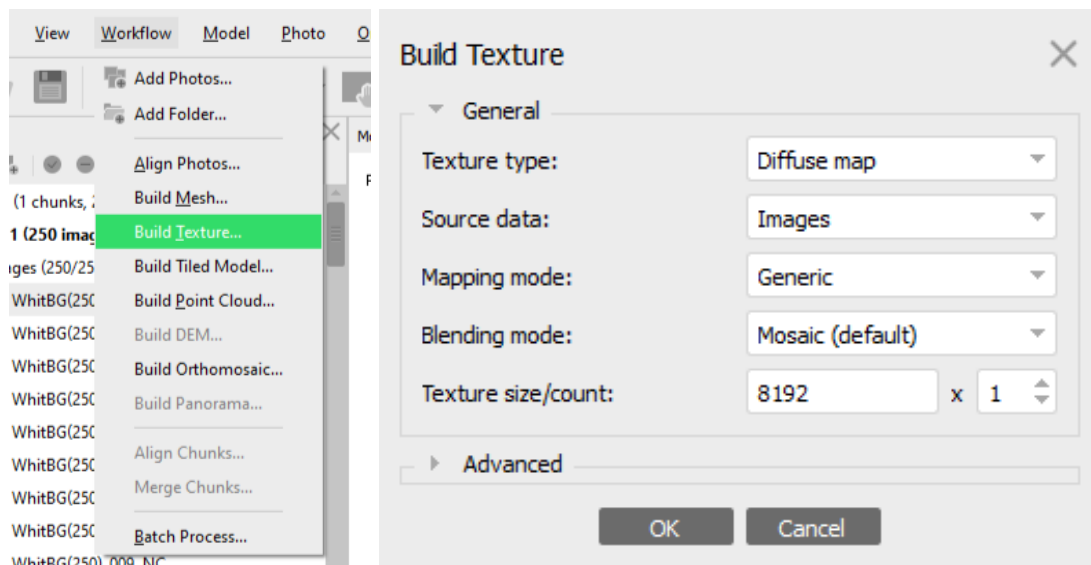
(a)

(б)

Рисунок 2.5 – а) меню побудови полігональної моделі, що випадає;

б) вікно налаштувань побудови полігональної моделі

Після створення сітка відобразиться на екрані. Для текстуровання виберіть "Build Texture" у меню "Workflow", як показано на рисунку 2.6.(а). Встановіть параметри, як показано на рисунку 2.6.(б).



(a)

(б)

Рисунок 2.6 – а) меню побудови текстур моделі, що випадає;
б) вікно налаштувань побудови текстури моделі

Після цих кроків можна побачити готову модель з накладеними текстурами. Agisoft Metashape відзначається високими результатами у створенні 3D моделей та має інструментарій для підготовки фотографій і подальшої обробки моделей. Це ідеальний інструмент для складних сцен, де використовуються різні технології отримання щільних хмар точок.

2.3 Результати для різних умов

2.3.1 Рівномірне освітлення на білому фоні 250 фото

Загальна тривалість обробки для набору з 250 фотографій рівномірного освітлення на білому фоні склала 15:49 хвилин або 949 секунд.



Рисунок 2.9 – Результат створення Tie Points
на основі 250 фотографій на білому фоні

Етап "Build Point Cloud" вирішився створенням 1072927 points в щільній точковій хмарі. Нижче представлено рисунок 2.10 візуального представлення отриманої точкової хмари.



Рисунок 2.10 – Результат створення Point Cloud
на основі 250 фотографій на білому фоні

Під час етапу "Build Mesh" було отримано 26406 полігонів 3D-моделі обличчя. Далі наведено рисунок 2.11 результату обробки цього етапу.



Рисунок 2.11 – Результат створення Build Mesh
на основі 250 фотографій на білому фоні

В результаті цього етапу також отримано данні про кількість використаних точок щільної точкової хмари для створення полігону, це вказує на рівень достовірності моделі та де може знадобитися зробити додаткові фотографії. Ці данні представленні на рисунку 2.12.

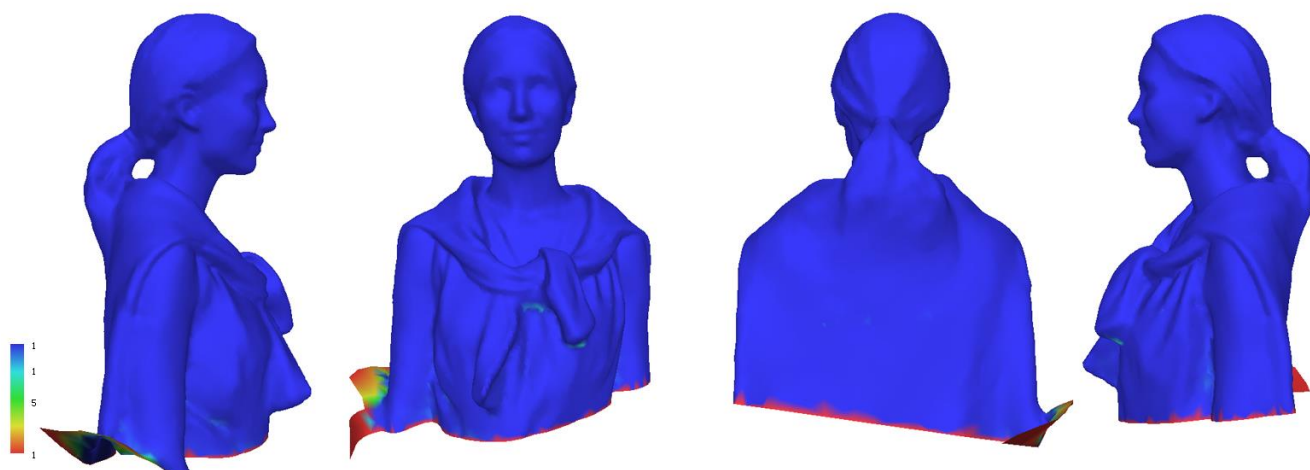


Рисунок 2.12 – Результат створення Build Mesh
на основі 250 фотографій на білому фоні

На заключному етапі "Build Texture" було створено текстуру для 3D-моделі обличчя, з використанням якої можна отримати реалістичне візуальне відображення. Нижче представлено рисунок 2.13 отриманої моделі з текстурою:



Рисунок 2.13 – Результат створення текстури моделі на основі 250 фотографій на білому фоні

2.3.2 Рівномірне освітлення на білому фоні 175 фото

Загальна тривалість обробки для набору з 175 фотографій рівномірного освітлення на білому фоні склала 11:00 хвилин або 660 секунд.

Processing finished		
Job	Processed	Failed
✓ Align Photos	1/1 in 00:03:04	0
✓ Build Point Cloud	1/1 in 00:04:46	0
✓ Build Mesh	1/1 in 00:01:24	0
✓ Build Texture	1/1 in 00:01:46	0

Overall progress:

Details ▸

Minimize Pause Background Close

Рисунок 2.14 – Тривалість обробки набору даних 175 фотографій на білому фоні на кожному етапі

Під час етапу "Align Photos" було визначено положення та орієнтації камери для кожного кадру, що представлено на рисунку 2.15, та побудована розріджена хмара точок яка склала 126018 Tie Points. Нижче наведено рисунок 2.16 результатів обробки, де кожен точковий об'єкт відповідає одному Tie Point.

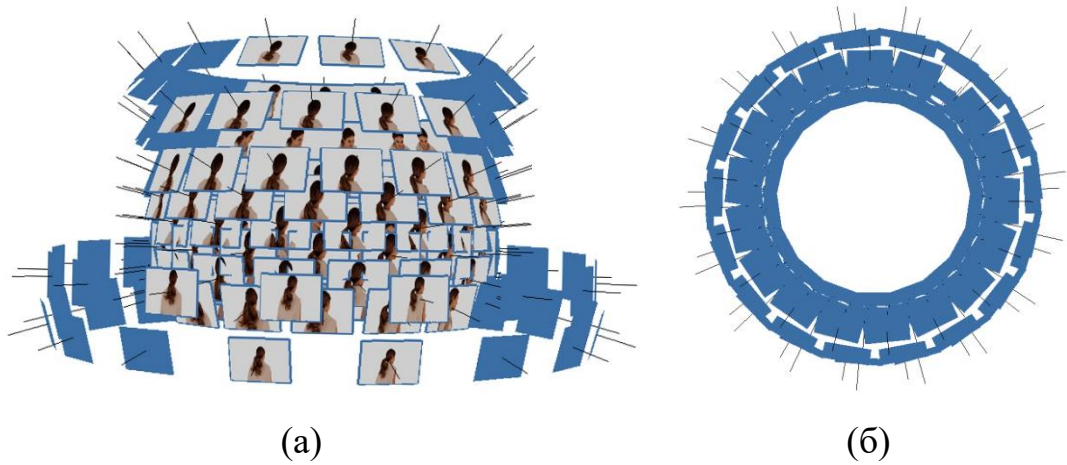


Рисунок 2.15 – Результат визначено положення та орієнтації камер
(а) вид з боку та (б) вид з гори



Рисунок 2.16 – Результат створення Tie Points
на основі 175 фотографій на білому фоні

Етап "Build Point Cloud" вирішився створенням 1110961 points в щільній точковій хмарі. Нижче представлено рисунок 2.17 візуального представлення отриманої точкової хмари.



Рисунок 2.17 – Результат створення Point Cloud
на основі 175 фотографій на білому фоні

Під час етапу "Build Mesh" було отримано 27182 полігонів 3D-моделі обличчя. Далі наведено рисунок 2.18 результату обробки цього етапу.



Рисунок 2.18 – Результат створення Build Mesh
на основі 175 фотографій на білому фоні

В результаті цього етапу також отримано данін про кількість використаних точок щільної точкової хмари для створення полігону, це вказує на рівень достовірності моделі та де може знадобитися зробити додаткові фотографії. Ці данні представленні на рисунку 2.19.

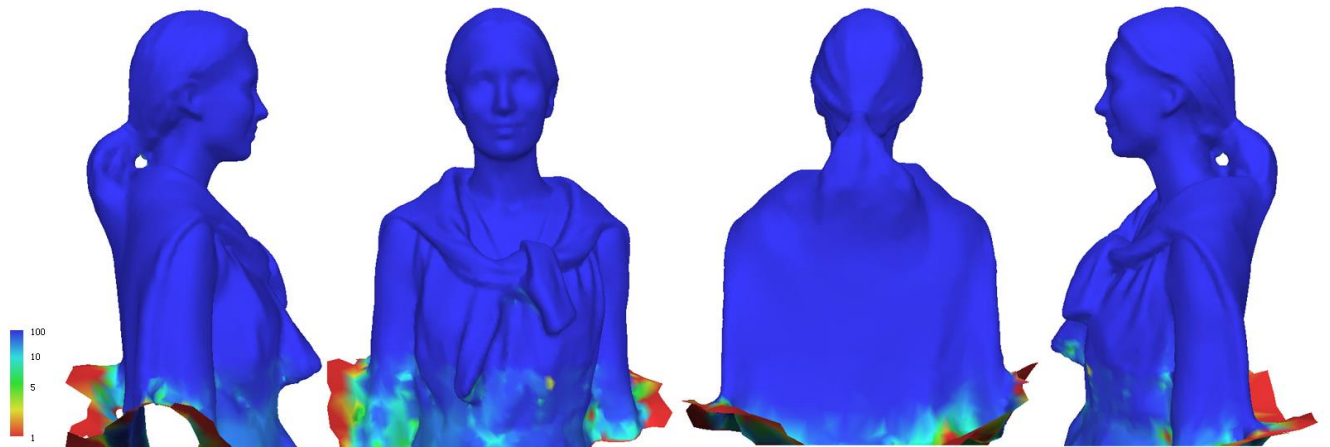


Рисунок 2.19 – Результат створення Build Mesh
на основі 175 фотографій на білому фоні

На заключному етапі "Build Texture" було створено текстуру для 3D-моделі обличчя, з використанням якої можна отримати реалістичне візуальне відображення. Нижче представлено рисунок 2.20 отриманої моделі з текстурою:



Рисунок 2.20 – Результат створення текстури моделі
на основі 175 фотографій на білому фоні

2.3.3 Рівномірне освітлення на білому фоні 100 фото

Загальна тривалість обробки для набору з 100 фотографій рівномірного освітлення на білому фоні склала 8:16 хвилин або 496 секунд.

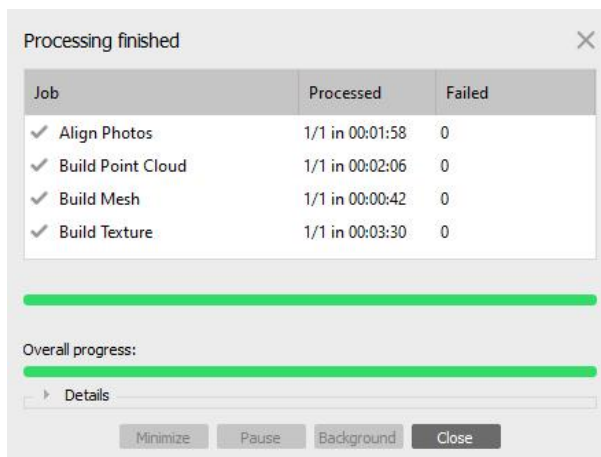


Рисунок 2.21 – Тривалість обробки набору даних 100 фотографій на білому фоні на кожному етапі

Під час етапу "Align Photos" було визначено положення та орієнтації камери для кожного кадру, але програмі вдалося визначити положення лише 92 фотографій зі 100, що представлено на рисунку 2.22, та побудована розріджена хмара точок яка склала 76005 Tie Points. Нижче наведено рисунок 2.23 результатів обробки, де кожен точковий об'єкт відповідає одному Tie Point.

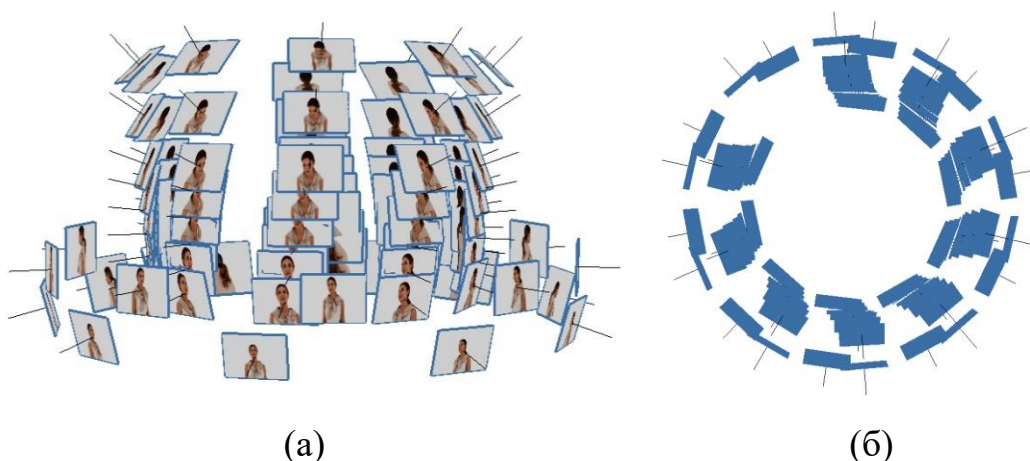


Рисунок 2.22 – Результат визначено положення та орієнтації камер

(a) вид з боку та (б) вид з гори



Рисунок 2.23 – Результат створення Tie Points
на основі 100 фотографій на білому фоні

Етап "Build Point Cloud" вирішився створенням 850038 points в щільній точковій хмарі. Нижче представлено рисунок 2.24 візуального представлення отриманої точкової хмари.



Рисунок 2.24 – Результат створення Point Cloud
на основі 100 фотографій на білому фоні

Під час етапу "Build Mesh" було отримано 22828 полігонів 3D-моделі обличчя. Далі наведено рисунок 2.25 результату обробки цього етапу.



Рисунок 2.25 – Результат створення Build Mesh
на основі 100 фотографій на білому фоні

В результаті цього етапу також отримано данні про кількість використаних точок щільної точкової хмари для створення полігону, це вказує на рівень достовірності моделі та де може знадобитися зробити додаткові фотографії. Ці данні представленні на рисунку 2.26.

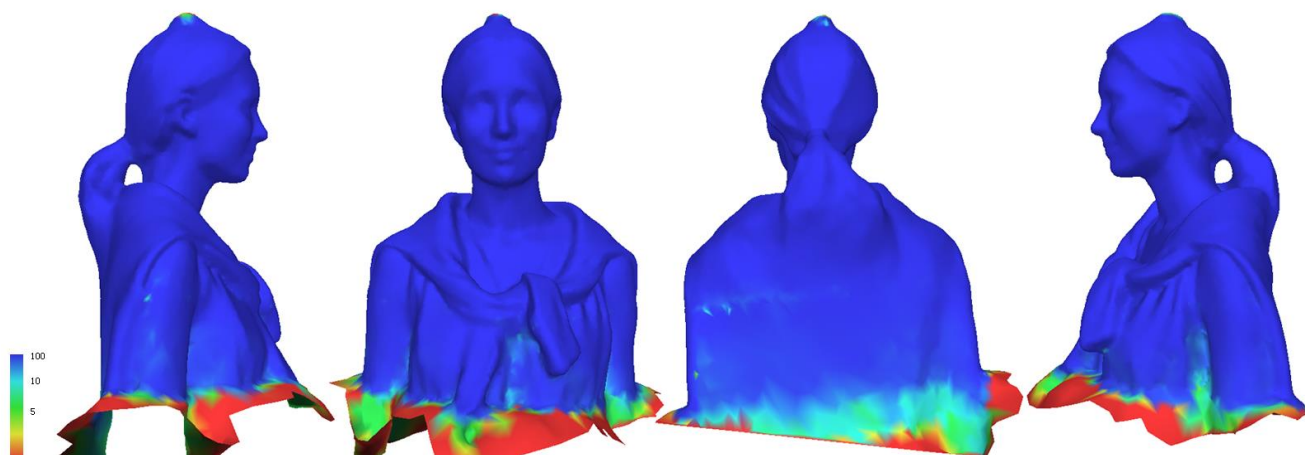


Рисунок 2.26 – Результат створення Build Mesh
на основі 100 фотографій на білому фоні

На заключному етапі "Build Texture" було створено текстуру для 3D-моделі обличчя, з використанням якої можна отримати реалістичне візуальне відображення. Нижче представлено рисунок 2.27 отриманої моделі з текстурою:



Рисунок 2.27 – Результат створення текстури моделі на основі 100 фотографій на білому фоні

2.3.4 Рівномірне освітлення на чорному фоні 250 фото

Загальна тривалість обробки для набору з 250 фотографій рівномірного освітлення на чорному фоні склала 16:31 хвилин або 991 секунд.

Processing finished		
Job	Processed	Failed
✓ Align Photos	1/1 in 00:03:58	0
✓ Build Point Cloud	1/1 in 00:08:13	0
✓ Build Mesh	1/1 in 00:02:20	0
✓ Build Texture	1/1 in 00:02:00	0

Overall progress:

Details ▾

Рисунок 2.28 – Тривалість обробки набору даних 250 фотографій на чорному фоні на кожному етапі

Під час етапу "Align Photos" було визначено положення та орієнтації камери для кожного кадру, що представлено на рисунку 2.29, та побудована розріджена хмара точок яка склала 94946 Tie Points. Нижче наведено рисунок 2.30 результатів обробки, де кожен точковий об'єкт відповідає одному Tie Point.

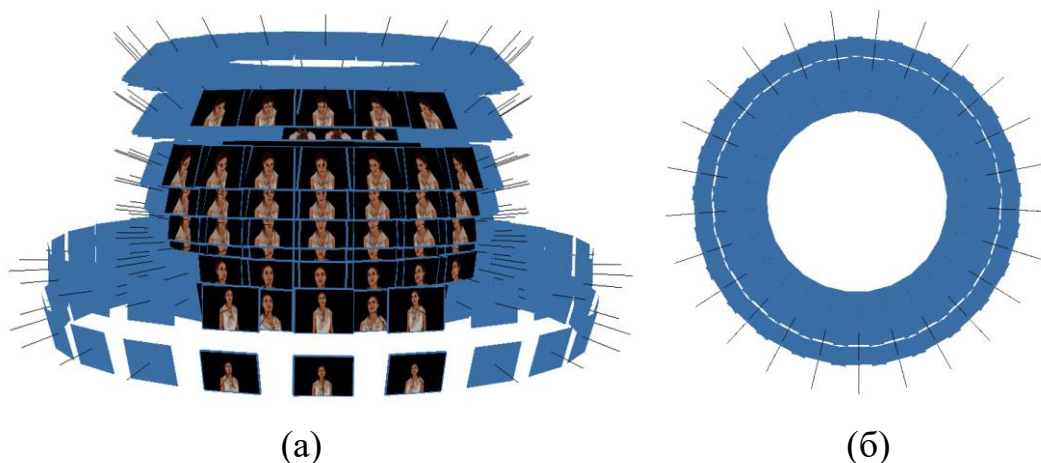


Рисунок 2.29 – Результат визначено положення та орієнтації камер
(а) вид з боку та (б) вид з гори



Рисунок 2.30 – Результат створення Tie Points
на основі 250 фотографій на чорному фоні

Етап "Build Point Cloud" вирішився створенням 1157904 points в щільній точковій хмарі. Нижче представлено рисунок 2.31 візуального представлення отриманої точкової хмари.



Рисунок 2.31 – Результат створення Point Cloud
на основі 250 фотографій на чорному фоні

Під час етапу "Build Mesh" було отримано 27435 полігонів 3D-моделі обличчя. Далі наведено рисунок 2.32 результату обробки цього етапу.



Рисунок 2.32 – Результат створення Build Mesh
на основі 250 фотографій на чорному фоні

В результаті цього етапу також отримано данні про кількість використаних точок щільної точкової хмари для створення полігону, це вказує на рівень

достовірності моделі та де може знадобитися зробити додаткові фотографії. Ці данні представленні на рисунку 2.33.

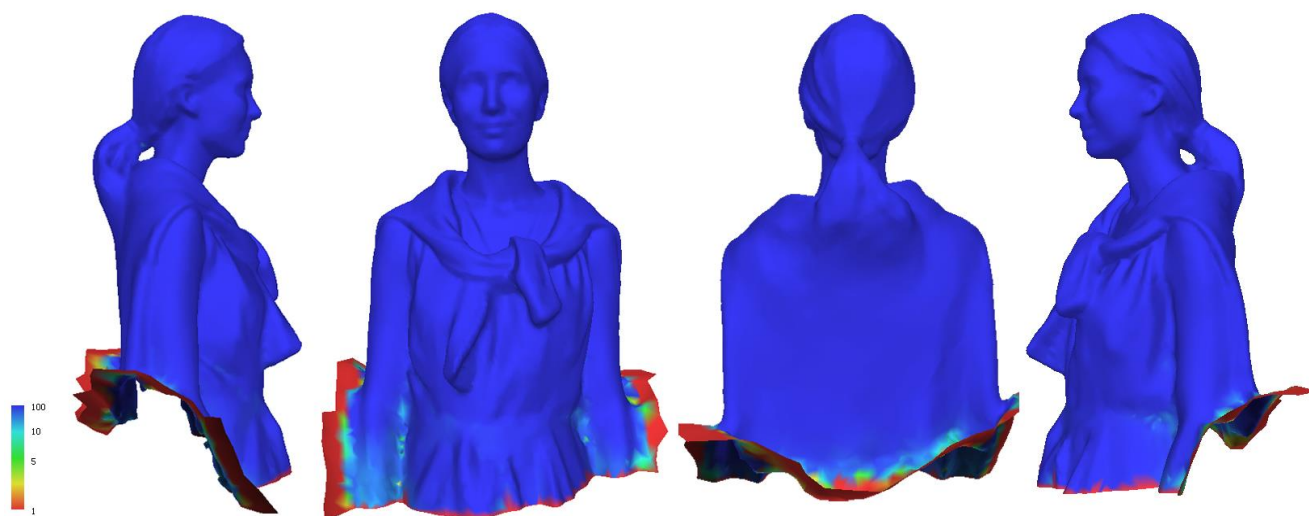


Рисунок 2.33 – Результат створення Build Mesh на основі 250 фотографій на чорному фоні

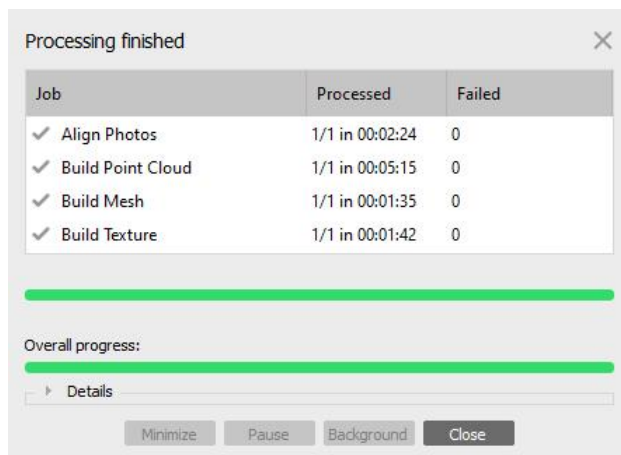
На заключному етапі "Build Texture" було створено текстуру для 3D-моделі обличчя, з використанням якої можна отримати реалістичне візуальне відображення. Нижче представлено рисунок 2.34 отриманої моделі з текстурою:



Рисунок 2.34 – Результат створення текстури моделі на основі 250 фотографій на чорному фоні

2.3.5 Рівномірне освітлення на чорному фоні 175 фото

Загальна тривалість обробки для набору з 175 фотографій рівномірного освітлення на чорному фоні склала 10:46 хвилин або 646 секунд.



Job	Processed	Failed
✓ Align Photos	1/1 in 00:02:24	0
✓ Build Point Cloud	1/1 in 00:05:15	0
✓ Build Mesh	1/1 in 00:01:35	0
✓ Build Texture	1/1 in 00:01:42	0

Overall progress:

Details

Minimize Pause Background Close

Рисунок 2.35 – Тривалість обробки набору даних 175 фотографій на чорному фоні на кожному етапі

Під час етапу "Align Photos" було визначено положення та орієнтації камери для кожного кадру, що представлено на рисунку 2.36, та побудована розріджена хмара точок яка склала 66675 Tie Points. Нижче наведено рисунок 2.37 результатів обробки, де кожен точковий об'єкт відповідає одному Tie Point.

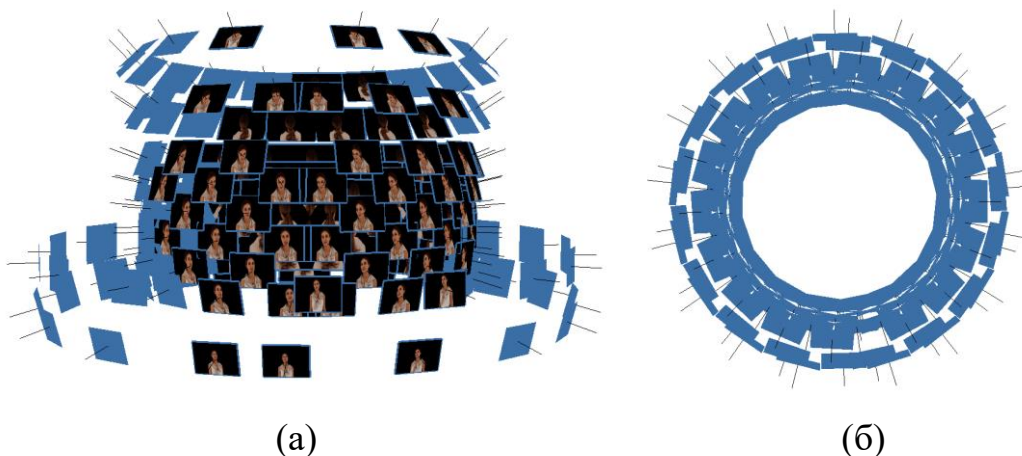


Рисунок 2.36 – Результат визначено положення та орієнтації камер
(а) вид з боку та (б) вид з гори



Рисунок 2.37 – Результат створення Tie Points
на основі 175 фотографій на чорному фоні

Етап "Build Point Cloud" вирішився створенням 1126805 points в щільній точковій хмарі. Нижче представлено рисунок 2.38 візуального представлення отриманої точкової хмари.



Рисунок 2.38 – Результат створення Point Cloud
на основі 175 фотографій на чорному фоні

Під час етапу "Build Mesh" було отримано 26604 полігонів 3D-моделі обличчя. Далі наведено рисунок 2.39 результату обробки цього етапу.



Рисунок 2.39 – Результат створення Build Mesh на основі 175 фотографій на чорному фоні

В результаті цього етапу також отримано данні про кількість використаних точок щільної точкової хмари для створення полігону, це вказує на рівень достовірності моделі та де може знадобитися зробити додаткові фотографії. Ці данні представленні на рисунку 2.40.

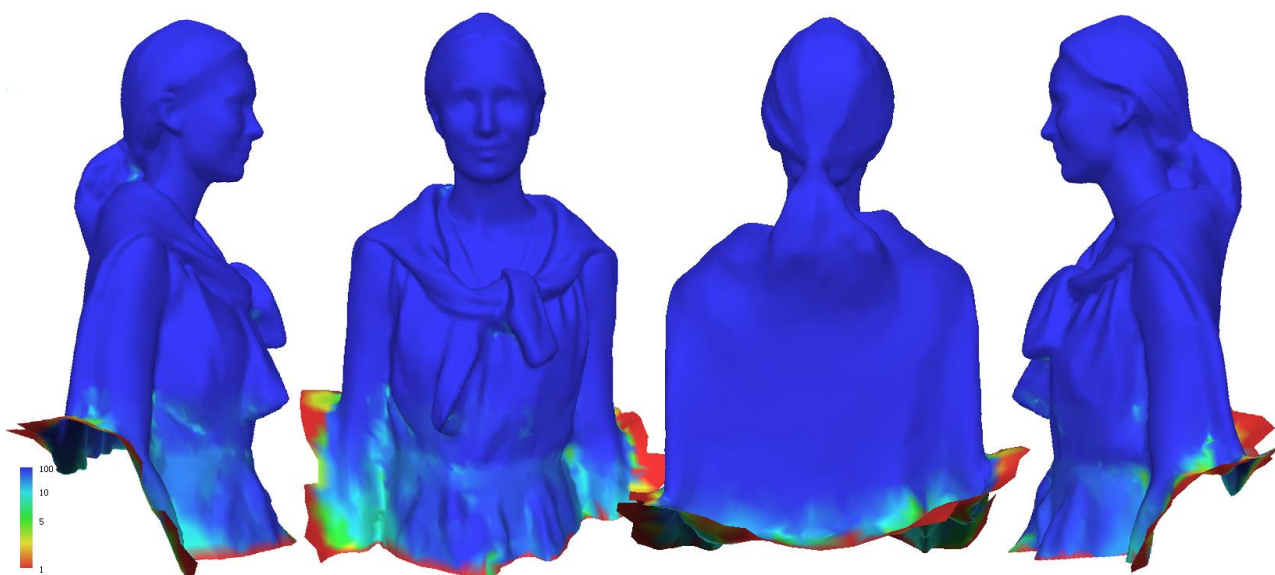


Рисунок 2.40 – Результат створення Build Mesh на основі 175 фотографій на чорному фоні

На заключному етапі "Build Texture" було створено текстуру для 3D-моделі обличчя, з використанням якої можна отримати реалістичне візуальне відображення. Нижче представлено рисунок 2.41 отриманої моделі з текстурою:



Рисунок 2.41 – Результат створення текстури моделі на основі 175 фотографій на чорному фоні

2.3.6 Рівномірне освітлення на чорному фоні 100 фото

Загальна тривалість обробки для набору з 100 фотографій рівномірного освітлення на чорному фоні склала 10:07 хвилин або 607 секунд.

Processing finished		
Job	Processed	Failed
✓ Align Photos	1/1 in 00:01:24	0
✓ Build Point Cloud	1/1 in 00:03:10	0
✓ Build Mesh	1/1 in 00:01:01	0
✓ Build Texture	1/1 in 00:04:32	0

Overall progress:

▸ Details

Minimize Pause Background Close

Рисунок 2.42 – Тривалість обробки набору даних 100 фотографій на чорному фоні на кожному етапі

Під час етапу "Align Photos" було визначено положення та орієнтації камери для кожного кадру, що представлено на рисунку 2.43, та побудована розріджена хмара точок яка склала 49715 Tie Points. Нижче наведено рисунок 2.44 результатів обробки, де кожен точковий об'єкт відповідає одному Tie Point.

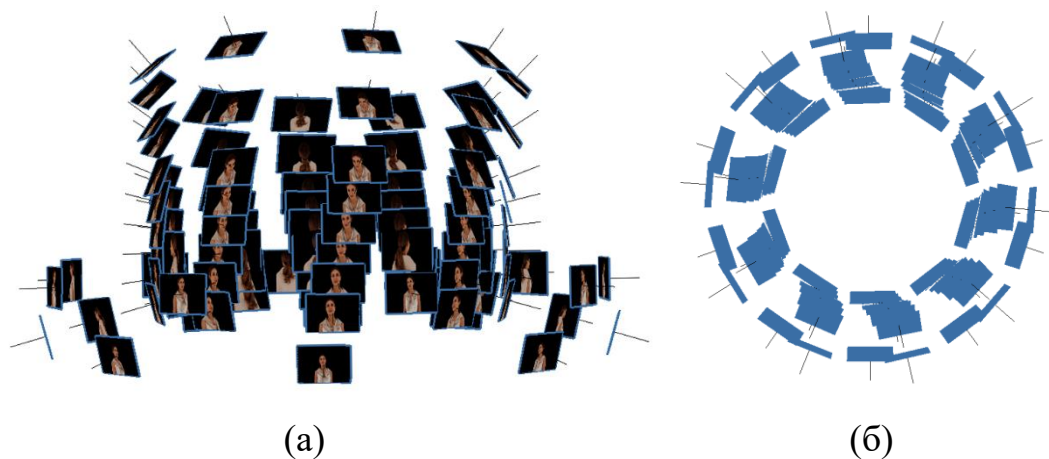


Рисунок 2.43 – Результат визначено положення та орієнтації камер

(a) вид з боку та (б) вид з гори



Рисунок 2.44 – Результат створення Tie Points

на основі 100 фотографій на чорному фоні

Етап "Build Point Cloud" вирішився створенням 972792 points в щільній точковій хмарі. Нижче представлено рисунок 2.45 візуального представлення отриманої точкової хмари.



Рисунок 2.45 – Результат створення Point Cloud
на основі 100 фотографій на чорному фоні

Під час етапу "Build Mesh" було отримано 24942 полігонів 3D-моделі обличчя. Далі наведено рисунок 2.46 результату обробки цього етапу.



Рисунок 2.46 – Результат створення Build Mesh
на основі 100 фотографій на чорному фоні

В результаті цього етапу також отримано данні про кількість використаних точок щільної точкової хмари для створення полігону, це вказує на рівень

достовірності моделі та де може знадобитися зробити додаткові фотографії. Ці данні представленні на рисунку 2.47.

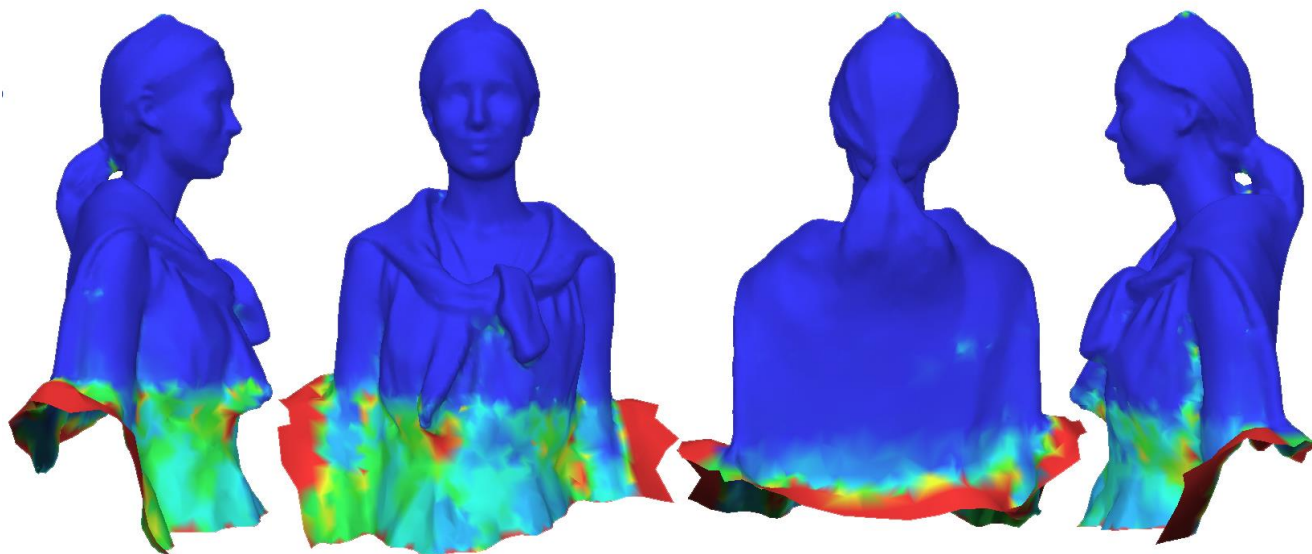


Рисунок 2.47 – Результат створення Build Mesh на основі 100 фотографій на чорному фоні

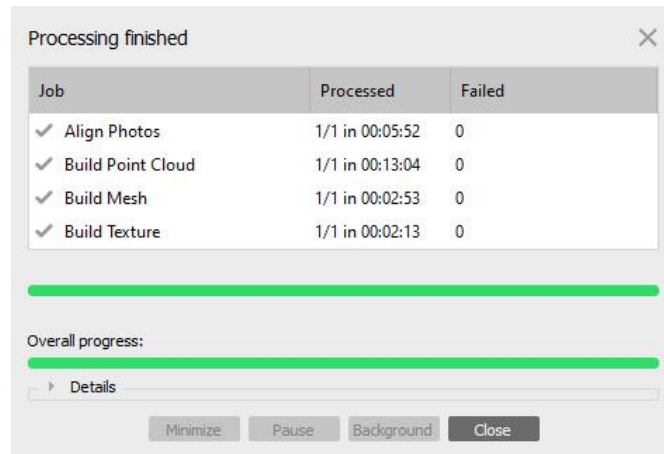
На заключному етапі "Build Texture" було створено текстуру для 3D-моделі обличчя, з використанням якої можна отримати реалістичне візуальне відображення. Нижче представлено рисунок 2.35 отриманої моделі з текстурою:



Рисунок 2.48 – Результат створення текстури моделі на основі 100 фотографій на чорному фоні

2.3.7 Природне освітлення в кімнаті 250 фото

Загальна тривалість обробки для набору з 250 фотографій природнього освітлення в кімнаті склала 24:02 хвилин або 1442 секунд.



Job	Processed	Failed
✓ Align Photos	1/1 in 00:05:52	0
✓ Build Point Cloud	1/1 in 00:13:04	0
✓ Build Mesh	1/1 in 00:02:53	0
✓ Build Texture	1/1 in 00:02:13	0

Overall progress:
 > Details

Minimize Pause Background Close

Рисунок 2.48 – Тривалість обробки набору даних 250 фотографій в кімнаті на кожному етапі

Під час етапу "Align Photos" було визначено положення та орієнтації камери для кожного кадру, що представлено на рисунку 2.49, та побудована розріджена хмара точок яка склала 66586 Tie Points.

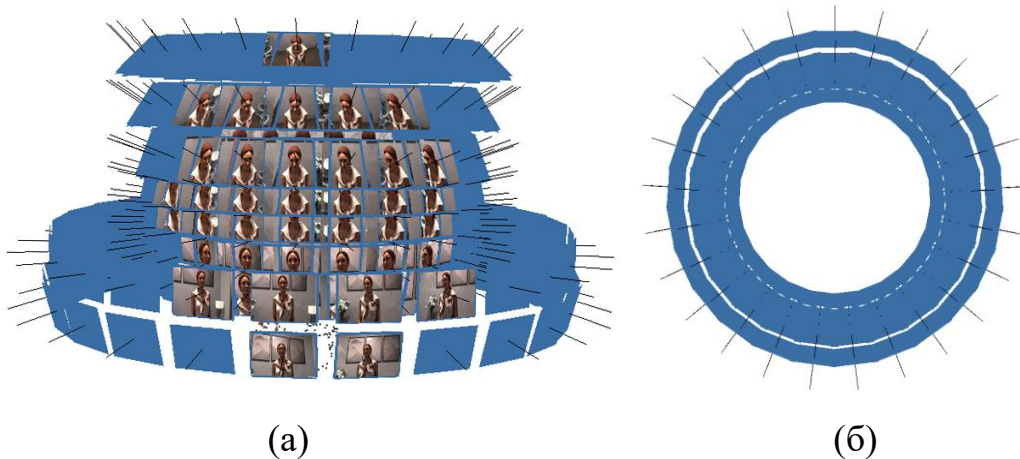


Рисунок 2.49 – Результат визначено положення та орієнтації камер

(а) вид з боку та (б) вид з гори

Але в процесі роботи програма обробила не лише модель, а ще й оточення, що показано на рисунку 2.50. Що вплинуло на статистичні результати та

потребувало подальшого уточнення, в результаті якого було визначено, що розріджена хмара точок яка стосувалась моделі склала 22331 Tie Points Нижче наведено рисунок 2.51 результатів обробки, де кожен точковий об'єкт відповідає одному Tie Point.



Рисунок 2.50 – Результат роботи програми без ручної обробки

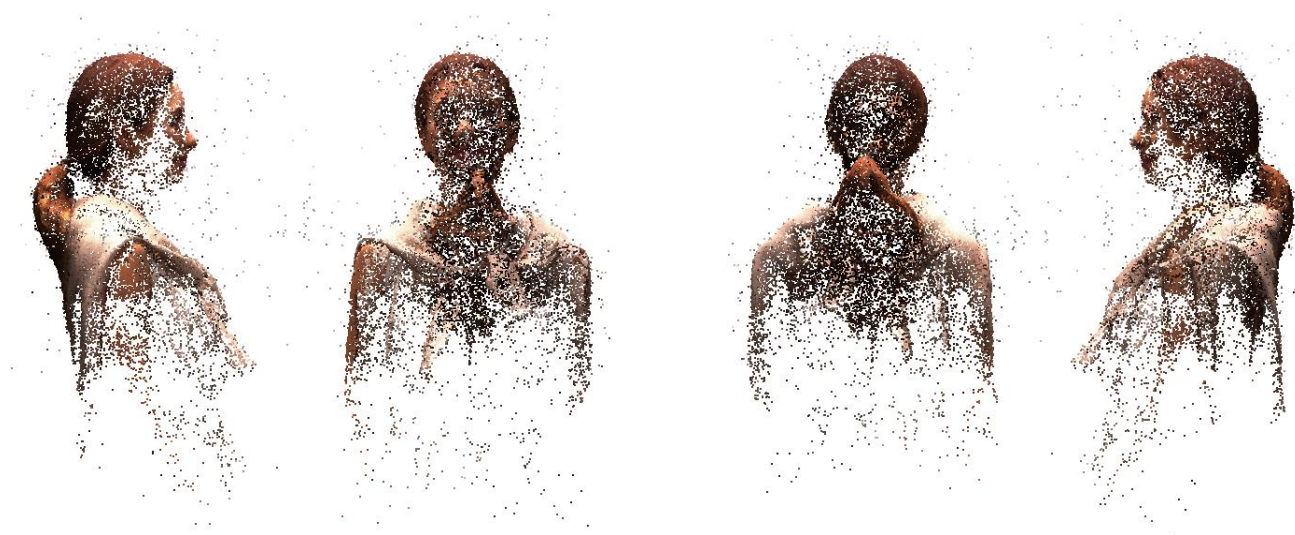


Рисунок 2.51 – Результат створення Tie Points
на основі 250 фотографій в кімнаті

Етап "Build Point Cloud" вирішився створенням 5083072 points в щільній точковій хмарі, після ручного уточнення результат склав 371433 points. Нижче представлено рисунок 2.52 візуального представлення отриманої точкової хмари.



Рисунок 2.52 – Результат створення Point Cloud
на основі 250 фотографій в кімнаті

Під час етапу "Build Mesh" було отримано 128330 полігонів 3D-моделі обличчя, після ручного уточнення результат склав 27446 полігонів. Далі наведено рисунок 2.53 результату обробки цього етапу.



Рисунок 2.54 – Результат створення Build Mesh
на основі 250 фотографій в кімнаті

В результаті цього етапу також отримано данні про кількість використаних точок щільної точкової хмари для створення полігону, це вказує на рівень достовірності моделі та де може знадобитися зробити додаткові фотографії. Ці данні представлені на рисунку 2.55.

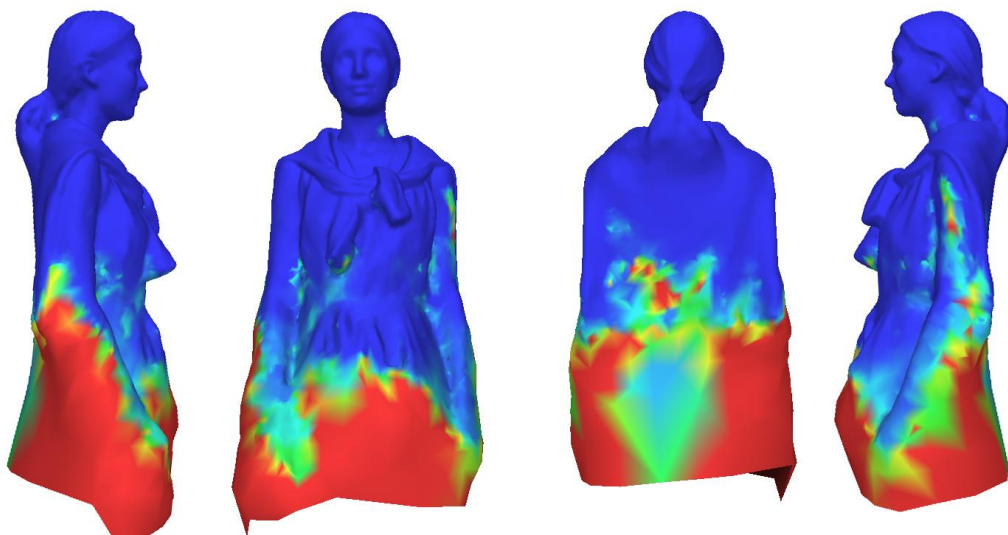


Рисунок 2.55 – Результат створення Build Mesh на основі 250 фотографій в кімнаті

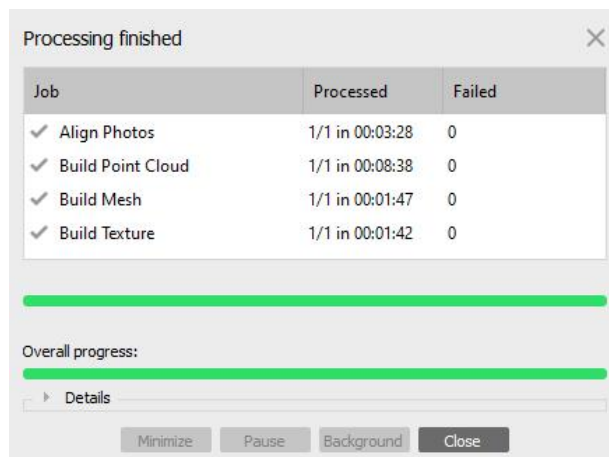
На заключному етапі "Build Texture" було створено текстуру для 3D-моделі обличчя, з використанням якої можна отримати реалістичне візуальне відображення. Нижче представлено рисунок 2.56 отриманої моделі з текстурою:



Рисунок 2.56 – Результат створення текстури моделі на основі 250 фотографій в кімнаті

2.3.8 Природне освітлення в кімнаті 175 фото

Загальна тривалість обробки для набору з 175 фотографій природнього освітлення в кімнаті склала 15:35 хвилин або 935 секунд.



Job	Processed	Failed
✓ Align Photos	1/1 in 00:03:28	0
✓ Build Point Cloud	1/1 in 00:08:38	0
✓ Build Mesh	1/1 in 00:01:47	0
✓ Build Texture	1/1 in 00:01:42	0

Overall progress:

Details

Minimize Pause Background Close

Рисунок 2.57 – Тривалість обробки набору даних 175 фотографій в кімнаті на кожному етапі

Під час етапу "Align Photos" було визначено положення та орієнтації камери для кожного кадру, що представлено на рисунку 2.58, та побудована розріджена хмара точок яка склала 57048 Tie Points.

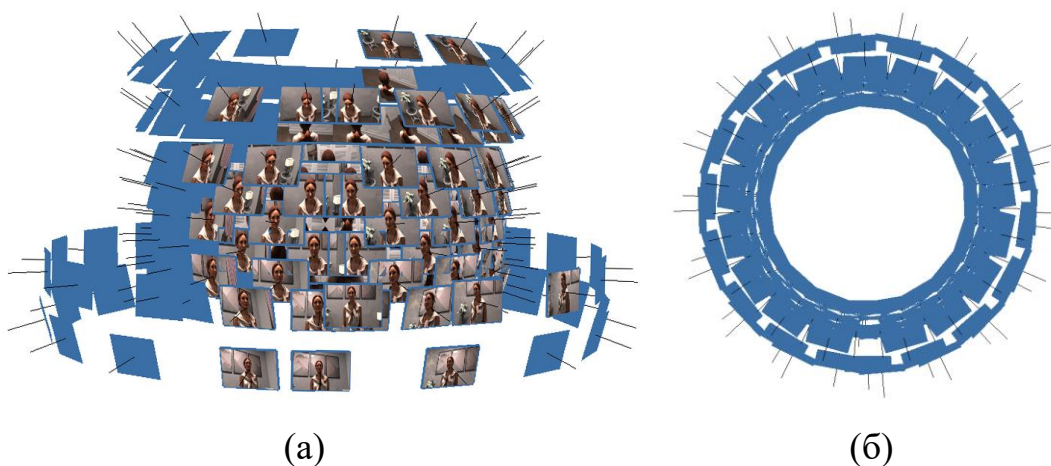


Рисунок 2.58 – Результат визначено положення та орієнтації камер (а) вид з боку та (б) вид з гори

Але в процесі роботи програма обробила не лише модель, а ще й оточення, що показано на рисунку 2.59. Що вплинуло на статистичні результати та

потребувало подальшого уточнення, в результаті якого було визначено, що розріджена хмара точок яка стосувалась моделі склала 24162 Tie Points Нижче наведено рисунок 2.60 результатів обробки, де кожен точковий об'єкт відповідає одному Tie Point.



Рисунок 2.59 – Результат роботи програми без ручної обробки



Рисунок 2.60 – Результат створення Tie Points
на основі 175 фотографій в кімнаті

Етап "Build Point Cloud" вирішився створенням 1225520 points в щільній точковій хмарі, після ручного уточнення результат склав 1120322 points. Нижче представлено рисунок 2.61 візуального представлення отриманої точкової хмари.



Рисунок 2.61 – Результат створення Point Cloud
на основі 175 фотографій в кімнаті

Під час етапу "Build Mesh" було отримано 26885 полігонів 3D-моделі обличчя, після ручного уточнення результат склав 24335 полігонів. Далі наведено рисунок 2.62 результату обробки цього етапу.



Рисунок 2.62 – Результат створення Build Mesh
на основі 175 фотографій в кімнаті

В результаті цього етапу також отримано данні про кількість використаних точок щільної точкової хмари для створення полігону, це вказує на рівень достовірності моделі та де може знадобитися зробити додаткові фотографії. Ці данні представлені на рисунку 2.63.

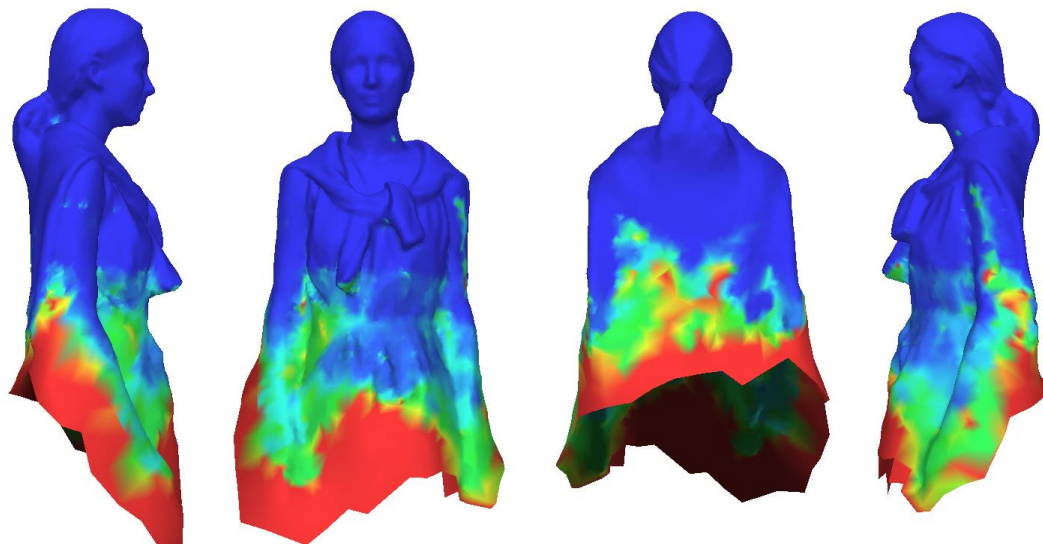


Рисунок 2.63 – Результат створення Build Mesh на основі 175 фотографій в кімнаті

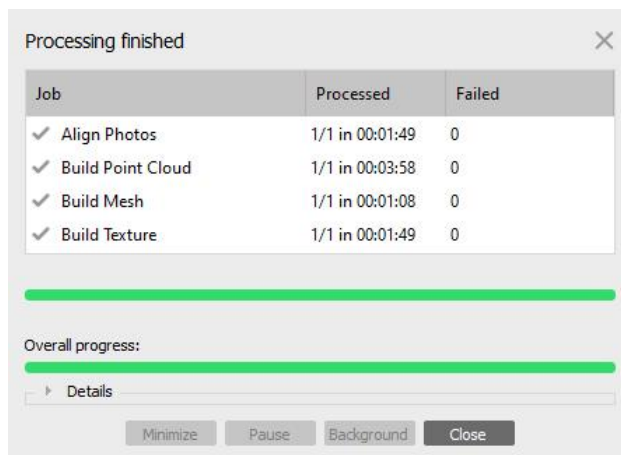
На заключному етапі "Build Texture" було створено текстуру для 3D-моделі обличчя, з використанням якої можна отримати реалістичне візуальне відображення. Нижче представлено рисунок 2.64 отриманої моделі з текстурою:



Рисунок 2.64 – Результат створення текстури моделі на основі 175 фотографій в кімнаті

2.3.9 Природне освітлення в кімнаті 100 фото

Загальна тривалість обробки для набору з 100 фотографій природнього освітлення в кімнаті склала 8:44 хвилин або 524 секунд.



Job	Processed	Failed
✓ Align Photos	1/1 in 00:01:49	0
✓ Build Point Cloud	1/1 in 00:03:58	0
✓ Build Mesh	1/1 in 00:01:08	0
✓ Build Texture	1/1 in 00:01:49	0

Overall progress:

Details

Minimize Pause Background Close

Рисунок 2.65 – Тривалість обробки набору даних 100 фотографій в кімнаті на кожному етапі

Під час етапу "Align Photos" було визначено положення та орієнтації камери для кожного кадру, що представлено на рисунку 2.66, та побудована розріджена хмара точок яка склала 53122 Tie Points.

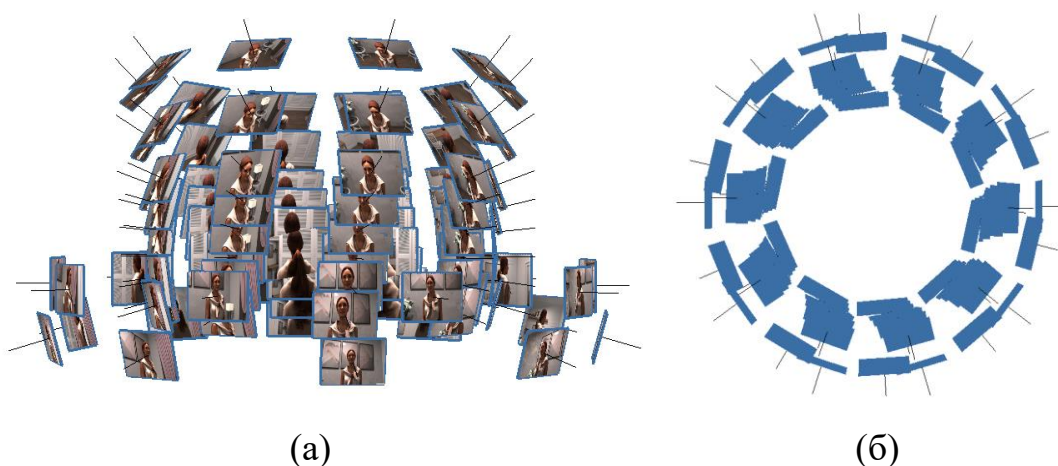


Рисунок 2.66 – Результат визначено положення та орієнтації камер (а) вид з боку та (б) вид з гори

Але в процесі роботи програма обробила не лише модель, а ще й оточення, що показано на рисунку 2.67. Що вплинуло на статистичні результати та

потребувало подальшого уточнення, в результаті якого було визначено, що розріджена хмара точок яка стосувалась моделі склала 21611 Tie Points Нижче наведено рисунок 2.68 результатів обробки, де кожен точковий об'єкт відповідає одному Tie Point.



Рисунок 2.67 – Результат роботи програми без ручної обробки



Рисунок 2.68 – Результат створення Tie Points
на основі 100 фотографій в кімнаті

Етап "Build Point Cloud" вирішився створенням 2036302 points в щільній точковій хмарі, після ручного уточнення результат склав 633766 points. Нижче представлено рисунок 2.69 візуального представлення отриманої точкової хмари.



Рисунок 2.69 – Результат створення Point Cloud
на основі 100 фотографій в кімнаті

Під час етапу "Build Mesh" було отримано 50397 полігонів 3D-моделі обличчя, після ручного уточнення результат склав 21224 полігонів. Далі наведено рисунок 2.70 результату обробки цього етапу.



Рисунок 2.70 – Результат створення Build Mesh
на основі 100 фотографій в кімнаті

В результаті цього етапу також отримано данні про кількість використаних точок щільної точкової хмари для створення полігону, це вказує на рівень достовірності моделі та де може знадобитися зробити додаткові фотографії. Ці данні представленні на рисунку 2.71.

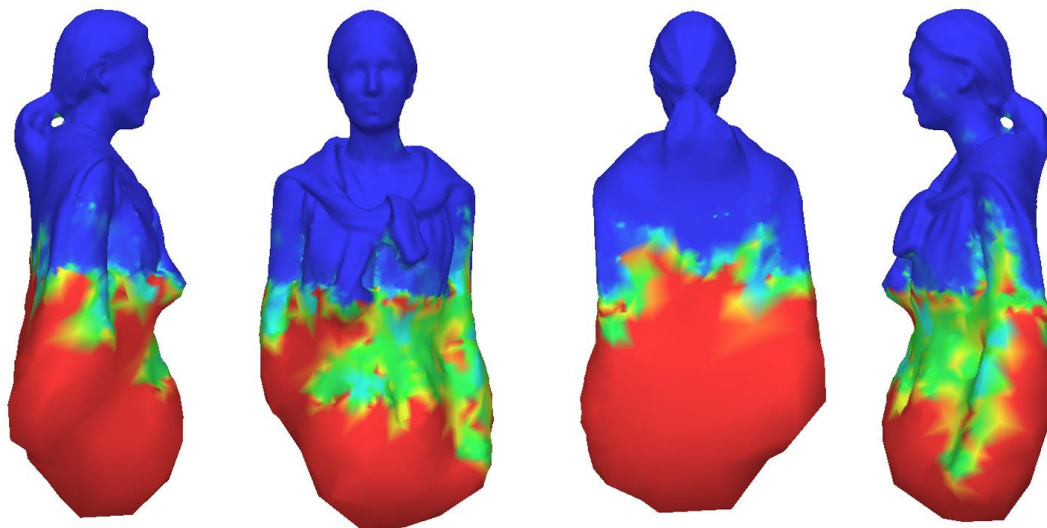


Рисунок 2.71 – Результат створення Build Mesh
на основі 100 фотографій в кімнаті

На заключному етапі "Build Texture" було створено текстуру для 3D-моделі обличчя, з використанням якої можна отримати реалістичне візуальне відображення. Нижче представлено рисунок 2.72 отриманої моделі з текстурою:



Рисунок 2.72 – Результат створення текстури моделі
на основі 100 фотографій в кімнаті

Кожен тип фону був представлений трьома різними наборами фотознімків з різною кількістю фотографій для забезпечення різних рівнів деталізації та обсягу даних. Підготовка наборів зображень включала обходження об'єкта на 10 різних рівнях висоти з однаковим кроком кута та відстанню для забезпечення об'єктивності умов експерименту.

Методологія обробки даних у Agisoft Metashape включала імпорт фотографій, аналіз якості зображень, вирівнювання фотографій, створення щільної хмари точок, побудову полігональної моделі, створення текстури та оцінку результатів.

Розділ подає конкретні результати для трьох типів фону (з 250, 175 та 100 фотографій для кожного фону). Для кожного випадку наведено час обробки на різних етапах, включаючи Align Photos, Build Point Cloud, Build Mesh та Build Texture. Представлені результати включають визначення положення та орієнтації камер, щільні точкові хмари, полігоніальні моделі людини та текстуровані 3D- моделі.

Аналіз даних з цього розділу дозволять зрозуміти ефективність методології обробки даних та вплив типу фону та кількості фотографій на якість отриманих 3D- моделей. Детальний аналіз різних умов експерименту надає підстави для визначення оптимальних параметрів та умов для подальших досліджень у даній області.

3 АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ ДАНИХ

3.1 Аналіз експериментальних даних за тривалості обробки

В результаті експериментального дослідження були отримані данні про тривалість виконання обробки зображень на кожному етапі. На основі цих даних було побудовано стовбчасту діаграму яка представлення на рисунку 3.1.

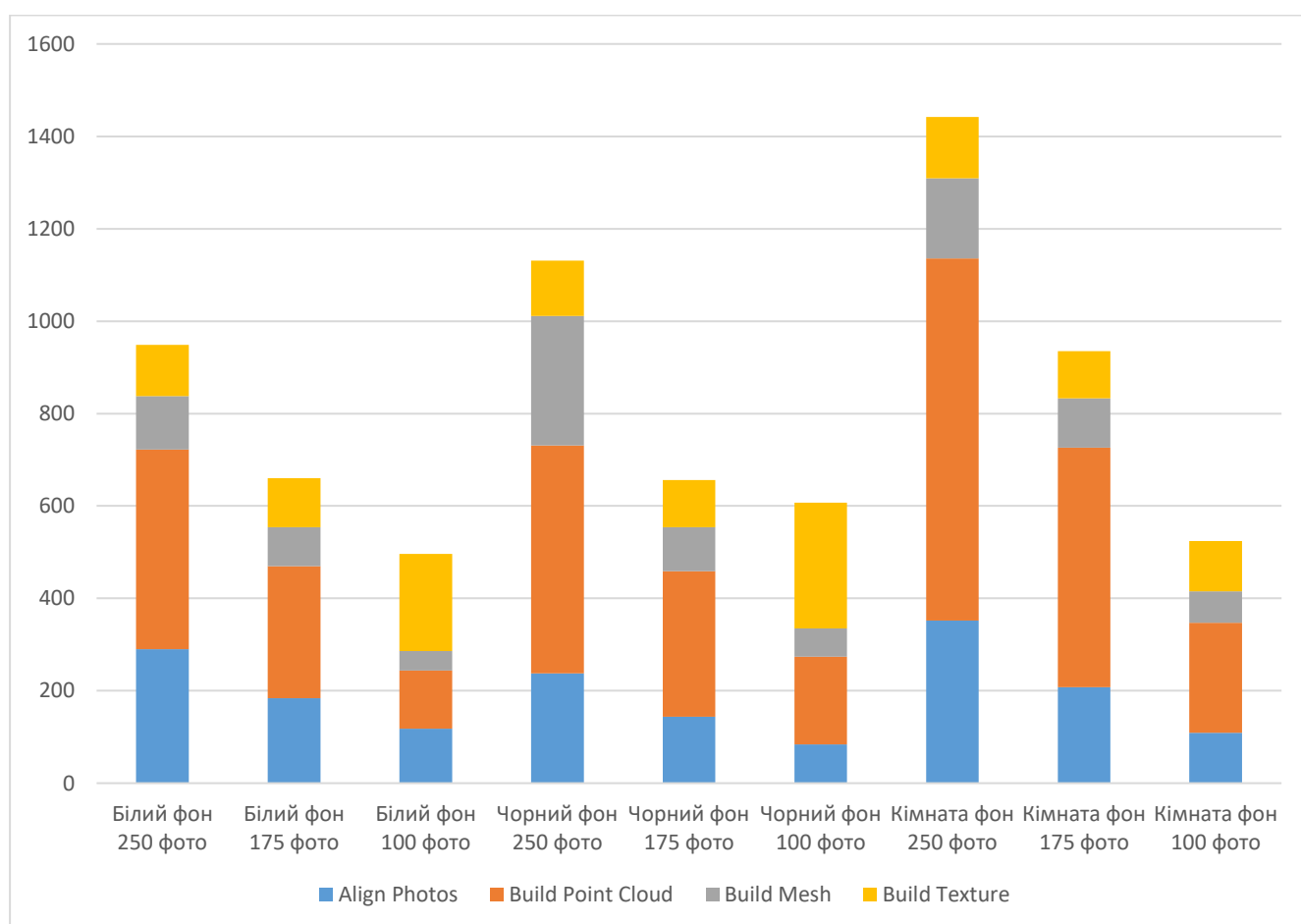


Рисунок 3.1 – Діаграма тривалості обробки набору даних

За отриманими даними можна визначити загальну тенденцію залежності між кількістю фотографій та загальним часом обробки. Для цього розглянемо загальний час виконання всіх етапів обробки для кожної кількості фотографій:

1. Білий фон:

- 250 фото: $290 + 432 + 116 + 111 = 949$;
- 175 фото: $184 + 286 + 84 + 106 = 660$;
- 100 фото: $118 + 126 + 42 + 210 = 496$;

2. Чорний фон:

- 250 фото: $238 + 493 + 280 + 120 = 1131$;
- 175 фото: $144 + 315 + 95 + 102 = 656$;
- 100 фото: $84 + 190 + 61 + 272 = 607$;

3. Кімната фон:

- 250 фото: $352 + 784 + 173 + 133 = 1442$;
- 175 фото: $208 + 518 + 107 + 102 = 935$;
- 100 фото: $109 + 238 + 68 + 109 = 524$.

Загальний час обробки зростає зі збільшенням кількості фотографій для всіх типів фонів.

Для всіх кількостей фотографій обробка з фоном "Кімната" потребує найбільше часу, а з фоном "Чорний" - найменше.

Ці результати підкреслюють важливість оптимізації процесу для покращення ефективності при обробці великої кількості фотографій, особливо з використанням фону "Кімната".

3.2 Аналіз кількості Tie Points

В результаті експериментального дослідження були отримані данні про кількість точок в розрідженій хмарі. На основі цих даних було побудовано стовбчасту діаграму яка представлення на рисунку 3.2. В якій значення "Extra Tie Points" вказує на кількість надмірних даних про оточення, що потребують вилучення при статистичному аналізі.

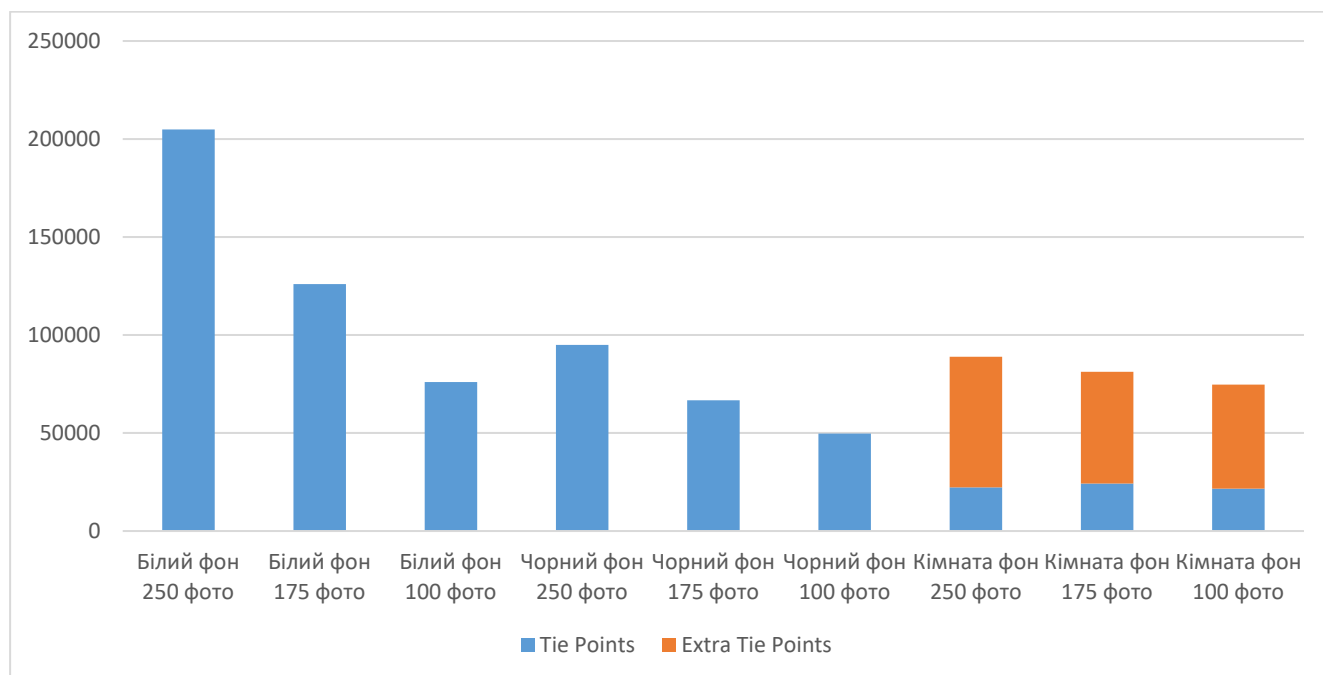


Рисунок 3.2 – Діаграма кількості точок в розрідженій хмарі

На основі отриманих даних можна визначити, що існує певна залежність між кількістю фотографій та Tie Points.

1. Білий фон:

- 250 фото: 204909 Tie Points;
- 175 фото: 126018 Tie Points;
- 100 фото: 76005 Tie Points;

2. Чорний фон:

- 250 фото: 94976 Tie Points;
- 175 фото: 66675 Tie Points;
- 100 фото: 49715 Tie Points;

3. Кімната:

- 250 фото: 22331 Tie Points;
- 175 фото: 24162 Tie Points;
- 100 фото: 21611 Tie Points.

Зі зменшенням кількості фотографій зменшується і кількість Tie Points. Це може бути пов'язано з тим, що менша кількість фотографій може означати меншу густоту даних і менше можливостей для точного прив'язування точок.

Існує висока позитивна кореляція між кількістю фотографій та Tie Points для білого та чорного фонів. Коефіцієнти кореляції Пірсона близькі до 1 (0.99174 для білого фону та 0.9897 для чорного фону), що вказує на сильну позитивну лінійну залежність між цими двома змінними. Це означає, що із збільшенням кількості фотографій на білому або чорному фоні кількість Tie Points також збільшується.

Проте для фону кімнати коефіцієнт кореляції Пірсона дорівнює 0.27372, що ближче до нуля. Це вказує на слабку позитивну лінійну залежність або відсутність чіткої залежності між кількістю фотографій та Tie Points для цього типу фону.

3.3 Аналіз кількості Point Cloud

В результаті експериментального дослідження були отримані данні про кількість точок в щільній точковій хмарі. На основі цих даних було побудовано стовбчасту діаграму яка представлення на рисунку 3.3. В якій значення “Extra Point Cloud” вказує на кількість надмірних даних про оточення, що потребують вилучення при статистичному аналізі.

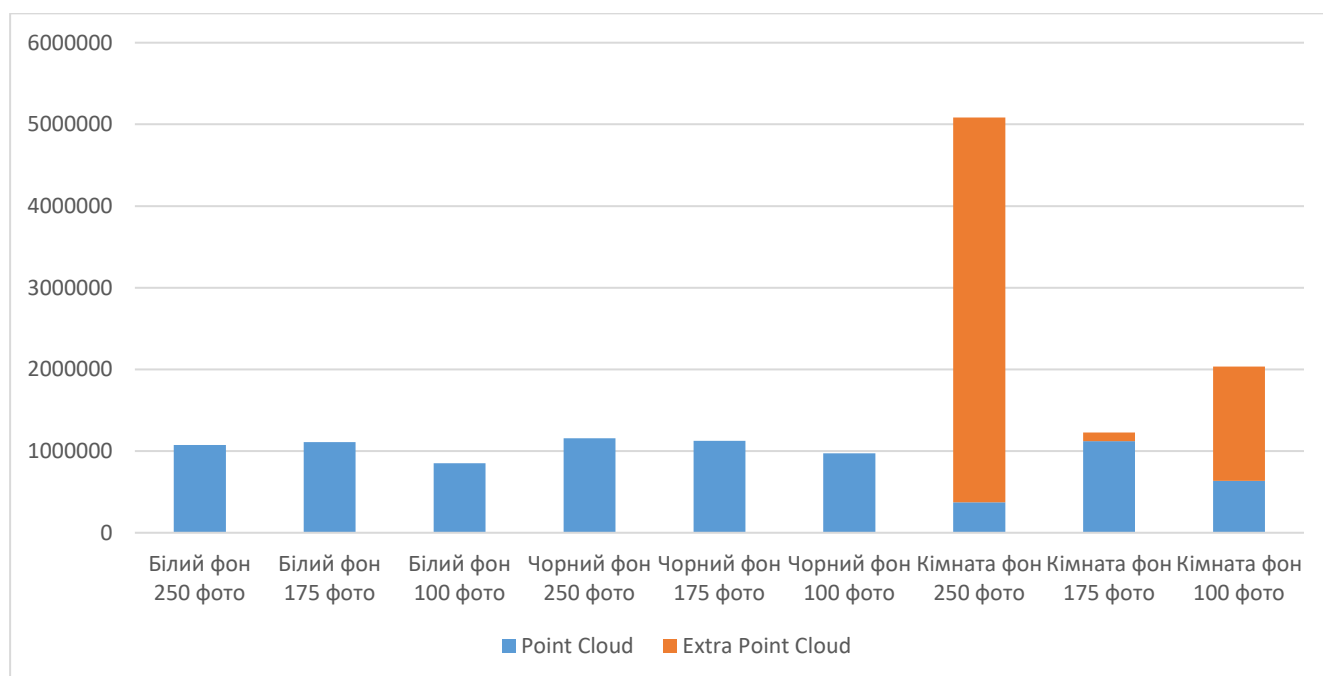


Рисунок 3.3 – Діаграма кількості точок в щільній точковій хмарі

На основі поданих даних здається, що існує залежність між типом фону, кількістю фотографій і значенням хмари точок. Давайте розглянемо дані більш уважно:

1. Білий фон:

- 250 фото: 1072927;
- 175 фото: 1110961;
- 100 фото: 850038;

2. Чорний фон:

- 250 фото: 1157904;
- 175 фото: 1126805;
- 100 фото: 972792;

3. Кімната фон:

- 250 фото: 371433;
- 175 фото: 1120322;
- 100 фото: 633766.

Значення хмари точок збільшується при зменшенні кількості фотографій для білого та чорного фонів (наприклад, з 250 до 175 фото). Для кімнатного фону такої тенденції немає.

Є різниці в значеннях хмари точок в залежності від типу фону та кількості фотографій. Так, існує певна залежність між кількістю фотографій на кожному типі фону та значенням хмари точок. Коефіцієнт кореляції Пірсона надає міру сили та напрямку лінійного зв'язку між двома змінними.

Для фону "Білий фон" коефіцієнт кореляції Пірсона дорівнює 0.79065, що свідчить про позитивний лінійний зв'язок. Це означає, що збільшення кількості фотографій на білому фоні супроводжується збільшенням значення хмари точок.

Для фону "Чорний фон" коефіцієнт кореляції Пірсона дорівнює 0.93374, що також свідчить про сильний позитивний лінійний зв'язок. Тут збільшення кількості фотографій на чорному фоні також пов'язано з збільшенням значення хмари точок.

У випадку фону "Кімната" коефіцієнт кореляції Пірсона дорівнює -0.34518 . Це свідчить про від'ємний лінійний зв'язок, що може тлумачитися як зменшення значення хмари точок при збільшенні кількості фотографій на фоні "Кімната".

У той самий час, якщо розрахувати коефіцієнт кореляції Пірсона для Extra Point Cloud, він складе 0.74899 , що свідчить про позитивний лінійний зв'язок. Такі протиріччя в даних можуть вказувати на залежність у розподілі щільності хмари точок обчисленого оточення та залишеної щільності цих точок на цільовому об'єкті.

3.4 Аналіз кількості Model Faces

В результаті експериментального дослідження були отримані данні про кількість полігонів в отриманих моделях. На основі цих даних було побудовано стовбчасту діаграму яка представлена на рисунку 3.4. В якій значення "Extra 3D Model Faces" вказує на кількість надмірних даних про оточення, що потребують видалення при статистичному аналізі.

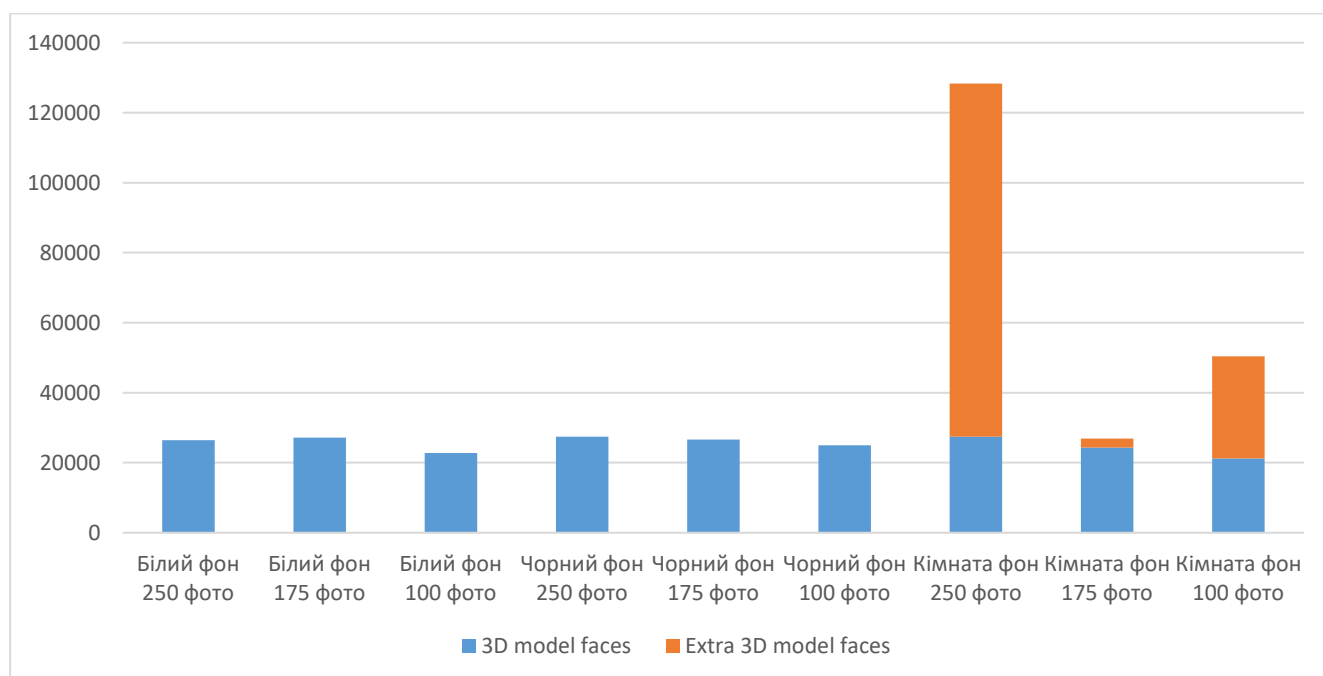


Рисунок 3.4 – Діаграма кількості полігонів в отриманій моделі

На основі отриманих даних про кількість фотографій на кожному фоні та кількість полігонів 3D-моделі, ми можемо провести попередній аналіз, який вказує на те, що зі збільшенням кількості фотографій зростає деталізація 3D-моделей.

На основі даних можна розрахувати коефіцієнти кореляції для різних фонів:

Білий фон. Коефіцієнт кореляції Пірсона дорівнює 0.77032. Це свідчить про існуючу, але не дуже сильну позитивну лінійну залежність між кількістю фотографій на білому фоні та кількістю полігонів 3D-моделі.

Чорний фон. Коефіцієнт кореляції Пірсона дорівнює 0.98198. Це свідчить про дуже сильну позитивну лінійну залежність між кількістю фотографій на чорному фоні та кількістю полігонів 3D-моделі.

Кімната. Коефіцієнт кореляції Пірсона дорівнює 1. Це вказує на абсолютну позитивну лінійну залежність між кількістю фотографій у кімнаті та кількістю полігонів 3D-моделі.

Отже, результати аналізу свідчать про те, що існує зв'язок між кількістю фотографій і деталізацією 3D-моделей, причому цей зв'язок може бути різним для різних фонів.

При побудові 3D моделей на якість отриманої моделі впливає велика кількість факторів. Дуже важливими параметрами є кількість фотографій, якість освітлення, а також фон, на якому робляться фотографії.

При використанні фону кімнати фотографії позиціонуються більш точно, але через надмірність даних збільшується загальна тривалість обробки. Та при малій кількості фотографій кожна фотографія позиціонується якісніше, але в моделі присутня велика кількість зайвих елементів. Також у даному експерименті помітні великі спотворення текстури через нерівномірність освітлення.

При використанні білого фону обробка фото відбувається довше, ніж на чорному, та при малій кількості фото не всі фотографії були позиціоновані, що свідчить про те, що алгоритмам програми складніше відділити об'єкт від фону. Але в той самий час білий фон дозволяє програмі прорізати отвори, на відміну від чорного фону, в якому отвори зашиваються.

ВИСНОВКИ

Фотограмметрія - це наука та технологія, яка дозволяє отримувати числову та графічну інформацію про об'єкти, зображені за допомогою світла.

Фотограмметрія використовується в різних галузях науки, техніки та виробництва. Вона дозволяє визначити форму, розміри, площу, об'єм та просторове положення об'єктів, а також виявляти їхні зміни з часом. При цьому фотограмметрія дозволяє отримувати інформацію про об'єкти, недоступні для безпосереднього вимірювання, а також використовувати її в сприятливих умовах для оператора.

Під час фотозйомки існують різні типи знімальних систем, такі як фотографічні, оптико-електронні та цифрові. Кожен з цих типів має свої переваги та обмеження, і вибір залежить від конкретних завдань та потреб.

Для отримання стереопари необхідно виконати три умови: отримання знімків з різних точок простору, обмеження різномасштабності знімків, і обмеження кута конвергенції головних оптичних осей знімальних систем під час фотографування.

Цифрова фотограмметрична система складається з персонального комп'ютера та програм, що забезпечують виконання фотограмметричних процесів та створення цифрової 3D моделі за цифровими знімками.

Джерела помилок фотограмметричних вимірювань можуть бути об'єднані в п'ять груп: помилки знімка, вимірювального приладу, розпізнавання точок, методики опрацювання та опорних точок. Вони можуть виникати з різних джерел та впливати на точність фотограмметричних вимірювань.

Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що існує зв'язок між кількістю фотографій і деталізацією 3D-моделей, причому цей зв'язок може бути різним для різних фонів.

При побудові 3D моделей на якість отриманої моделі впливає велика кількість факторів. Дуже важливими параметрами є кількість фотографій, якість освітлення, а також фон, на якому робляться фотографії.

При використанні фону кімнати фотографії позиціонуються більш точно, але через надмірність даних збільшується загальна тривалість обробки. Та при малій кількості фотографій кожна фотографія позиціонується якісніше, але в моделі присутня велика кількість зайвих елементів. Також у даному експерименті помітні великі спотворення текстури через нерівномірність освітлення.

При використанні білого фону обробка фото відбувається довше, ніж на чорному, та при малій кількості фото не всі фотографії були позиціоновані, що свідчить про те, що алгоритмам програми складніше відділити об'єкт від фону. Але в той самий час білий фон дозволяє програмі прорізати отвори, на відміну від чорного фону, в якому отвори зашиваються.

Ці данні допомагають зрозуміти вплив різних факторів на процес створення 3D-моделей та підкреслюють необхідність удосконалення методів та оптимізації для досягнення більш високої ефективності та якості результатів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Petriceks A. H. et al. Photogrammetry of human specimens: an innovation in anatomy education //Journal of medical education and curricular development. – 2018. – Т. 5.
2. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review //ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing. – 2014. – Т. 92. – С. 79-97.
3. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review //ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing. – 2014. – Т. 92. – С. 79-97.
4. Baqersad J. et al. Photogrammetry and optical methods in structural dynamics–A review //Mechanical Systems and Signal Processing. – 2017. – Т. 86. – С. 17-34.
5. Remondino F. et al. UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling–current status and future perspectives //The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2012. – Т. 38. – С. 25-31.
6. A Comparative Example Between The Use Of Pca And Mds For Image Classification / Hernandez, W., Mendez, A., Flor-Unda, O., Camejo, I.M., Kolendovska, M.// IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 29th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2020; Delft; Netherlands; 17 June 2020 до 19 June 2020; Volume 2020-June, June 2020, № 9152565, Pages 1353-1358
7. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review //ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing. – 2014. – Т. 92. – С. 79-97.
8. Experimental estimation of direction finding to unmanned air vehicles algorithms efficiency by their acoustic emission, /Oleynikov, V., Zubkov, O., Kartashov, V., ...Sheiko, S., Babkin, S.//2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 - Proceedings, 2019, стр. 175-178, 9061337

9. Remondino F. Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning //Remote sensing. – 2011. – T. 3. – №. 6. – C. 1104-1138.
- 10.Heinen T., Vinken P. M. Monocular and binocular vision in the performance of a complex skill //Journal of sports science & medicine. – 2011. – T. 10. – №. 3. – C. 520.
- 11.Weiss S. et al. Monocular vision for long-term micro aerial vehicle state estimation: A compendium //Journal of Field Robotics. – 2013. – T. 30. – №. 5. – C. 803-831.
- 12.Blake R.,Wilson H. Binocular vision//Vision research.-2011.-T.51.-№. 7.-C. 754-770.
- 13.Shao F. et al. Models of monocular and binocular visual perception in quality assessment of stereoscopic images //IEEE Transactions on Computational Imaging. – 2016. – T. 2. – №. 2. – C. 123-135.
- 14.Hasmanda M., Riha K. The modelling of stereoscopic 3D scene acquisition //Radioengineering. – 2012. – T. 21. – №. 1. – C.134-142.
- 15.Su C. C., Cormack L. K., Bovik A. C. Oriented correlation models of distorted natural images with application to natural stereopair quality evaluation //IEEE Transactions on image processing. – 2015. – T. 24. – №. 5. – C. 1685-1699.
- 16.M. Ivanov, O. Sergiyenko, V. Tyrsa, P. Mercorelli, V. Kartashov, W. Hernandez, S. Sheiko, M. Kolendovska. Individual scans fusion in virtual knowledge base for navigation of mobile robotic group with 3D TVS // Proceedings of 44th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society (IECON).. -2018. – Washington DC, USA. -S. 3187-3192. . ISBN 978-1-5090-6683-4/18/.
- 17.Dai F., Feng Y., Hough R. Photogrammetric error sources and impacts on modeling and surveying in construction engineering applications //Visualization in Engineering. – 2014. – T. 2. – №. 1. – C. 1-14.
- 18.Bryson M. et al. Characterization of measurement errors using structure-from-motion and photogrammetry to measure marine habitat structural complexity //Ecology and Evolution. – 2017. – T. 7. – №. 15. – C. 5669-5681.
- 19.Tyagi D., Mishra V., Verma H. Elevation Data Acquisition Accuracy Assessment for ESRI Drone2Map, Agisoft Metashape, and Pix4Dmapper UAV Photogrammetry Software //Proceedings of UASG 2021: Wings 4 Sustainability: Unmanned Aerial System in Geomatics. – 2023. – T. 304. – C. 121.