

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)

Дослідження технічних можливостей предметної фото- і відеозйомки
на камеру смартфона.
(тема)

Виконала:
студентка 2 курсу, групи МІМ-21-1
Кусинська І.Ю.
(прізвище, ініціали)

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

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Медіаінженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Посошенко В.О.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____ Володимир КАРТАШОВ
(підпис)

2022 р.

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

Освітня програма Медіаінженерія
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентці Кусинській Ірині Юріївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження технічних можливостей предметної фото- і відеозйомки на камеру смартфона.

затверджена наказом по університету від " 24 " 10 2022 р. № 1384 Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 07.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Тип знімального обладнання – камера смартфона Redmi 10 Pro. Провести аналіз принципів побудови та технічних характеристик камер смартфонів. Виконати теоретичні і експериментальні оцінки технічних параметрів знімальної та освітлювальної апаратури для проведення предметної зйомки. Провести оцінки чутливості камери смартфона, оцінки характеристик і вибір системи освітлення. Провести експериментальну перевірку результатів розрахунків. Описати власну практика створення предметного фото і відео на камеру смартфона. Обґрунтувати технічне забезпечення для предметної зйомки на смартфон. Навести власні приклади предметної фото- і відеозйомки.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Вступ

1. Аналіз побудови та технічних характеристик камер смартфонів.

2. Теоретичні і експериментальні оцінки технічних параметрів знімальної та освітлювальної апаратури для проведення предметної зйомки.

3. Практика створення предметного фото і відео на камеру смартфона.

Висновки

Перелік посилань

Додатки

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

1. Предметна зйомка (1 аркуш А4).
2. Постановка задачі (1 аркуш А4).
3. Головні характеристики камер (1 аркуш А4).
4. Камера Redmi Note 10 Pro (1 аркуш А4).
5. Формули для чутливості і SNR (1 аркуш А4).
6. Результати розрахунків (1 аркуш А4).
7. Розрахунок системи освітлення (1 аркуш А4).
8. Перевірка результатів розрахунків (1 аркуш А4).
9. Відношення сигнал-шум (1 аркуш А4).
10. Результат експерименту (1 аркуш А4).
11. Вибір технічного забезпечення (1 аркуш А4).
12. Альтернатива для освітлення (1 аркуш А4).
13. Експокорекція зйомки на темному фоні (1 аркуш А4).
14. Приклади зйомки на темному фоні (1 аркуш А4).
15. Приклади зйомки глянцевого предметів (1 аркуш А4).
16. Лайф-хаки з освітлення (1 аркуш А4).
17. Висновки (1 аркуш А4).

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд літератури	01.09.22–13.09.22	
2	Оцінка чутливості камери	14.09.22–27.09.22	
3	Оцінка параметрів системи освітлення	28.09.22–11.10.22	
4	Експериментальна частина	12.10.22–25.10.22	
5	Обробка результатів	26.10.22–10.11.22	
6	Графічна частина роботи	11.11.22–25.11.22	
7	Перевірка керівником	26.11.22–02.12.22	
8	Перевірка на академічний плагіат	03.12.22	
9	Перевірка завідувачем кафедри, рецензування	04.12.22–07.12.22	

Дата видачі завдання _____ 01.09.2022 р. _____

Студент _____ (підпис) _____ Ірина КУСИНСЬКА _____

Керівник роботи _____ (підпис) _____ Віталій ПОСОШЕНКО _____

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 70 сторінок, 48 рисунків, 6 таблиць, 36 джерел.

ВІДЕО, ДИФУЗНІСТЬ, КАМЕРА, КОЛІР, ОСВІТЛЕНІСТЬ, ПРЕДМЕТНА ЗЙОМКА, СОФТ-БОКС, СМАРТФОН, СИЛА СВІТЛА, СВІТЛОСИЛА, ФОКУСНА ВІДСТАНЬ, ФОТО, ЧУТЛИВІСТЬ

Об'єкт дослідження – процес формування фото- і відеозображень в камері смартфона.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є оцінка достатніх технічних умов для отримання фото- і відеозображень предметної зйомки на камеру смартфона, якісні показники яких будуть відповідати зображенням професійних фото- і відеокамер.

Методи роботи – теоретичний аналіз, модельний експеримент, натурний експеримент, статистична обробка даних.

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз принципів побудови та технічних характеристик камер смартфонів. Виконано теоретичні і експериментальні оцінки технічних параметрів знімальної та освітлювальної апаратури для проведення предметної зйомки: проведена оцінка чутливості камери смартфона, оцінка характеристик і вибір системи освітлення, проведена експериментальна перевірка результатів розрахунків. Описана власна практика створення предметного фото і відео на камеру смартфона: обґрунтоване технічне забезпечення для предметної зйомки на смартфон, наведено власні приклади предметної фото- і відеозйомки.

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work: 70 pages, 48 figures, 6 tables, 36 sources.

VIDEO, DIFFUSION, CAMERA, COLOR, LIGHT, SUBJECT SHOOTING, SOFTBOX, SMARTPHONE, LIGHT POWER, FOCUS LENGTH, PHOTOS, SENSITIVITY

The object of research is the process of forming photo and video images in the smartphone camera.

The purpose of the master's qualification work is to assess the sufficient technical conditions for obtaining photo and video images of subject shooting on a smartphone camera, the quality indicators of which will correspond to the images of professional photo and video cameras.

Work methods – theoretical analysis, model experiment, natural experiment, statistical data processing.

In the qualification work, the principles of construction and technical characteristics of smartphone cameras were analyzed. Theoretical and experimental evaluations of the technical parameters of the camera and lighting equipment for subject shooting were performed: the sensitivity of the smartphone camera was evaluated, the characteristics and selection of the lighting system were evaluated, and the experimental verification of the calculation results was performed. The own practice of creating subject photos and videos on a smartphone camera is described: technical support for subject photography on a smartphone is explained, personal examples of subject photo and video shooting are given.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	8
Вступ.....	9
1 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ТА ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАМЕР СМАРТФОНІВ.....	11
1.1 Оптична частина.....	11
1.2 Матричні перетворювачі світло-сигнал.....	20
1.3 Технічні характеристики фото- і відеокамер.....	25
1.4 Висновки по розділу 1.....	30
2 ТЕОРЕТИЧНІ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗІНМАЛЬНОЇ ТА ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ЗЙОМКИ.....	31
2.1 Оцінка чутливості камери смартфона.....	31
2.2 Оцінка характеристик і вибір системи освітлення.....	39
2.3 Перевірка результатів розрахунків.....	45
2.4 Висновки по розділу 2.....	50
3 ПРАКТИКА СТВОРЕННЯ ПРЕДМЕТНОГО ФОТО І ВІДЕО НА КАМЕРУ СМАРТФОНА.....	51
3.1 Технічне забезпечення для предметної зйомки на смартфон.....	51
3.2 Приклади предметної фото- і відеозйомки.....	56
3.3 Висновки по розділу 3.....	61
Висновки.....	62
Перелік джерел посилань.....	67
ДОДАТКИ.....	71
Додаток А. Текст програми в MATLAB.....	72

Додаток Б. Графічний матеріал.....	73
Додаток В. Відомість кваліфікаційної роботи.....	90

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

- БПЛА – безпілотний літальний апарат;
- ГРЗП – глибина різко зображуваного простору;
- КМОП – комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник;
- МДФ – мінімальна дистанція фокусування;
- Мпікс – мегапікселі – 1 млн. пікселів;
- ПЗЗ – прилад із зарядовим зв'язком;
- CCD – charge-coupled device – прилад із зарядовим зв'язком;
- CMOS – complementary metal-oxide-semiconductor – набір напівпровідникових технологій побудови інтегральних мікросхем та відповідна їй схемотехніка мікросхем;
- E – енергетична опроміненість, Вт/м²;
- EFL – effective focus length – ефективна фокусна відстань;
- F – світлосила об'єктива;
- f - stop – один крок зміни експозиції у фотографії;
- $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постійна Планка;
- HDR – High Dynamic Range – технологія зйомки з високим динамічним діапазоном;
- ISO – International Organization for Standardization – Міжнародна організація зі стандартизації;
- MTF – Modulation Transfer Function – модуляційна передатна функція;
- S – площа пікселя, м²;
- SNR – signal-to-noise ratio – відношення сигнал-шум;
- T_e – час експонування, с;
- $\bar{W}_\phi = h\bar{\nu}$ – середня енергія фотона, Дж;
- $\bar{\nu}$ – середня частота випромінення джерела світла, Гц;
- η – квантовий вихід.

ВСТУП

Предметна фотографія – жанр фотографії, що використовується в рекламі для демонстрації зовнішніх характеристик продукту, що рекламується – його дизайну, конструкції і значущих елементів. Виходячи із завдання проводиться фотозйомка товару, предметів або асортиментних груп, об'єднаних у кадрі загальною композицією. Досягаються максимально вирашені ракурси, які переконливо «говорять» про важливі функціональні властивості товару та його відмінності від конкурентної продукції.

Фото об'єктів, що рекламуються, потрібні для буклетів, сайтів Інтернет-магазинів, для періодичних видань, а також для каталогів і художніх альбомів, листівок, постерів і плакатів і т.д., ґрунтуючись на візуальній інформації. У багатьох випадках фотографія в буклеті, каталозі, на плакаті є для клієнта або покупця єдиною можливістю оцінити всі переваги предмета, що зображається. Саме на підставі фотографії він робить для себе певні висновки, які надалі впливають на рішення про купівлю.

За потреби використовується додаткове обладнання та спеціальні пристрої – предметний стіл, макрооб'єктив, поляризаційні фільтри, безтіньовий куб, різні джерела світла та кольорові фони. Під час зйомки фотограф обов'язково повинен прибрати відблиски та зайві відображення, підкреслити обсяг, глибину та фактуру предметів.

Предметна фотозйомка особливо популярна для інтернет-магазинів

Фотозйомка одягу, взуття, побутових предметів та інших товарів максимально затребувана останніми роками. Це з стрімким розвитком Інтернет-комерції. Оскільки конкуренція в Інтернеті величезна, перевагу набувають магазини, що надають відмінну візуальну складову – предметні фотографії.

Предметна фотографія отримала своє велике застосування у сфері продажу одягу та взуття, техніки, інвентарю, комплектуючих та багатьох

інших товарів. Найбільш популярним видом предметної фотографії є товари щоденного використання та продукти харчування.

Є думка, що якісна предметна фото- і відеозйомка можлива лише з використанням професійної камери вартістю 1 тис. доларів і вище. В той же час залишаються майже не використаними можливості камер сучасних смартфонів, виробники яких рік від року покращують і вдосконалюють їхні характеристики.

Предметну зйомку можна віднести до різновиду студійної зйомки. Вона відбувається при штучному освітленні, світловий потік ламп, освітленість на об'єкті і положення джерел світла можна контролювати і змінювати під будь-які потрібні об'єкти зйомки, додаткові аксесуари, оточення і фон. Тому можна очікувати, що предметна фото- і відео зйомка на камеру сучасного смартфона може дати результати, які майже не відрізнятимуться від професійної фото- та відеотехніки.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є оцінка достатніх технічних умов для отримання фото- і відеозображень предметної зйомки на камеру смартфона, якісні показники яких будуть відповідати зображенням професійних фото- і відеокамер.

1 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ТА ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАМЕР СМАРТФОНІВ

1.1 Оптична частина

Об'єктив – оптичний пристрій, призначений для створення дійсного оптичного зображення. В оптиці розглядається як рівнозначне збиральній лінзі, яка може мати і інший вигляд, наприклад «камера-обскура». Звичайний об'єктив складається з набору лінз (в деяких об'єктивах – і дзеркал), розрахованих для взаємної компенсації аберацій (оптичних спотворень) і зібраних в єдиній системі всередині оправы.

Основні характеристики об'єктивів [1-4]:

- фокусна відстань (і можливість її зміни);
- кут поля зору об'єктива;
- світлосила;
- максимальний відносний отвір (величина, обернена до світлосили);
- величина та характер оптичних спотворень (аберацій);
- роздільна здатність;
- тип байонета або діаметр різьблення для кріплення до камери – для змінних фотографічних чи кінознімальних об'єктивів.

Додаткові та уточнюючі характеристики об'єктивів [1-4]:

- робочий відрізок або робоча відстань для змінних об'єктивів: відстань між опорною площиною приєднувальної оправы та фокальною площиною об'єктива; у більшості випадків визначається типом байонета, що має важливе значення для різьбових типів кріплення;

- мінімальний відносний отвір (максимальне число діафрагми, наприклад 16 або 22); визначається конструктивними особливостями діафрагми;

– мінімальна дистанція фокусування (МДФ), або максимальний масштаб макрозйомки для макрооб'єтивів (наприклад, 55 мм, 1:1) – визначається фокусною відстанню та конструкцією;

– діаметр та крок різьби для приєднання світлофільтрів;

– графіки MTF (Modulation Transfer Function – модуляційна передатна функція – уточнює роздільну здатність);

– число лінз та груп лінз; більша кількість лінз дозволяє мати об'єтив із краще виправленими аберациями, проте зменшує світлопропускання та підвищує ризик паразитних перевідбиттів, що знижують контраст зображення;

– наявність асферичних лінз;

– вид просвітлення.

Кут огляду об'єктива обернено пропорційний фокусній відстані об'єктива. У загальному вигляді формула, за допомогою якої можна прорахувати кут поля зору об'єктиву α , має такий вигляд [2]:

$$\alpha = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{d}{2f} \right), \quad (1.1)$$

де f – це фокусна відстань,

d – діагональний розмір матричного перетворювача світло-сигнал.

Відповідний процес формування зображення на матриці показаний на рис.1.1.

В реальності в парі з об'єктивом може використовуватися матриця з меншим розміром d_1 , ніж діагональ зображення d . Тоді для такої камери вводиться поняття еквівалентної (або ефективної) фокусної відстані (effective focus length) [2]:

$$efl = f \cdot Cf, \quad (1.2)$$

де $Cf = d/d_1$ – кроп-фактор.

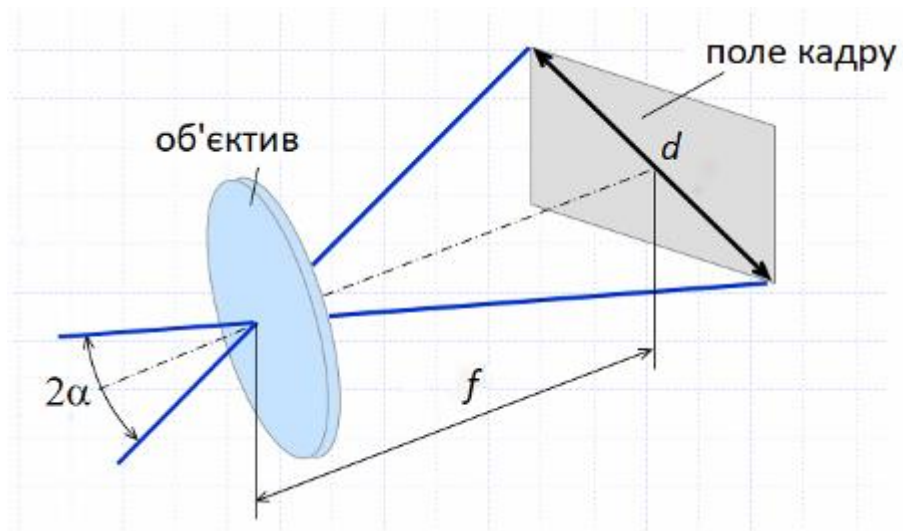


Рисунок 1.1 – Процес формування зображення на матриці

Для повного кадру значення $Cf = 1$, інші варіанти представлені на рис.1.2.

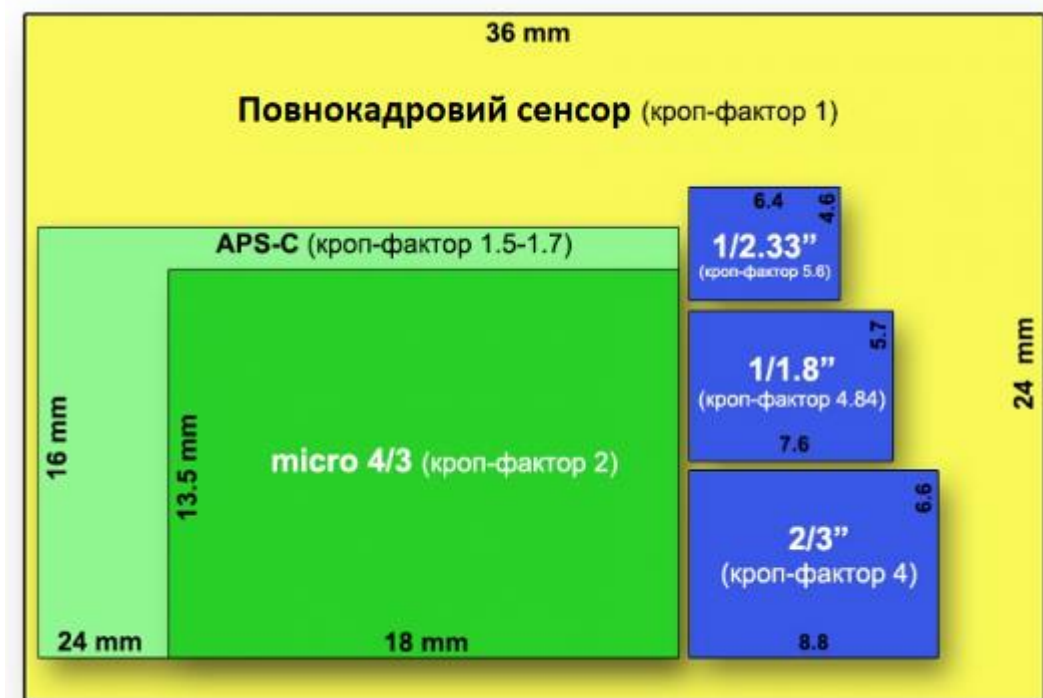


Рисунок 1.2 – Найбільш поширені кроп-фактори

Кут зору об'єктиву впливає на перспективу зображення. Перспектива (фр. perspective, італ. prospettiva, від латів. perspicere – ясно бачити, дивитися крізь, проникати поглядом, уважно розглядати) – ясне бачення, панорама, погляд в далечінь, картина широкого простору. У спеціальному значенні –

різні способи і сукупність прийомів зображення об'ємних форм і просторових відносин на площині, "в результаті застосування яких виникає конструкція, що забезпечує однорідність сприйняття всіх елементів зображення" [1].

На рис.1.3 показано два приклади, коли об'єктиви з різним кутом зору дають різну перспективу зображення. Це проявляється в різному розмірі об'єкту на задньому плані. Він має фізичний розмір такий саме, як і у об'єкту на передньому плані. Але за рахунок різного кута зору об'єктиву його видимий розмір у кадрі буде значно відрізнятися. Для ширококутних об'єктивів розміри зображень об'єктів на задньому і передньому плані будуть сильно відрізнятися. Для довгофокусних (або теле-) об'єктивів зменшення розміру зображення об'єкту з його віддаленням буде мало вираженим [3].

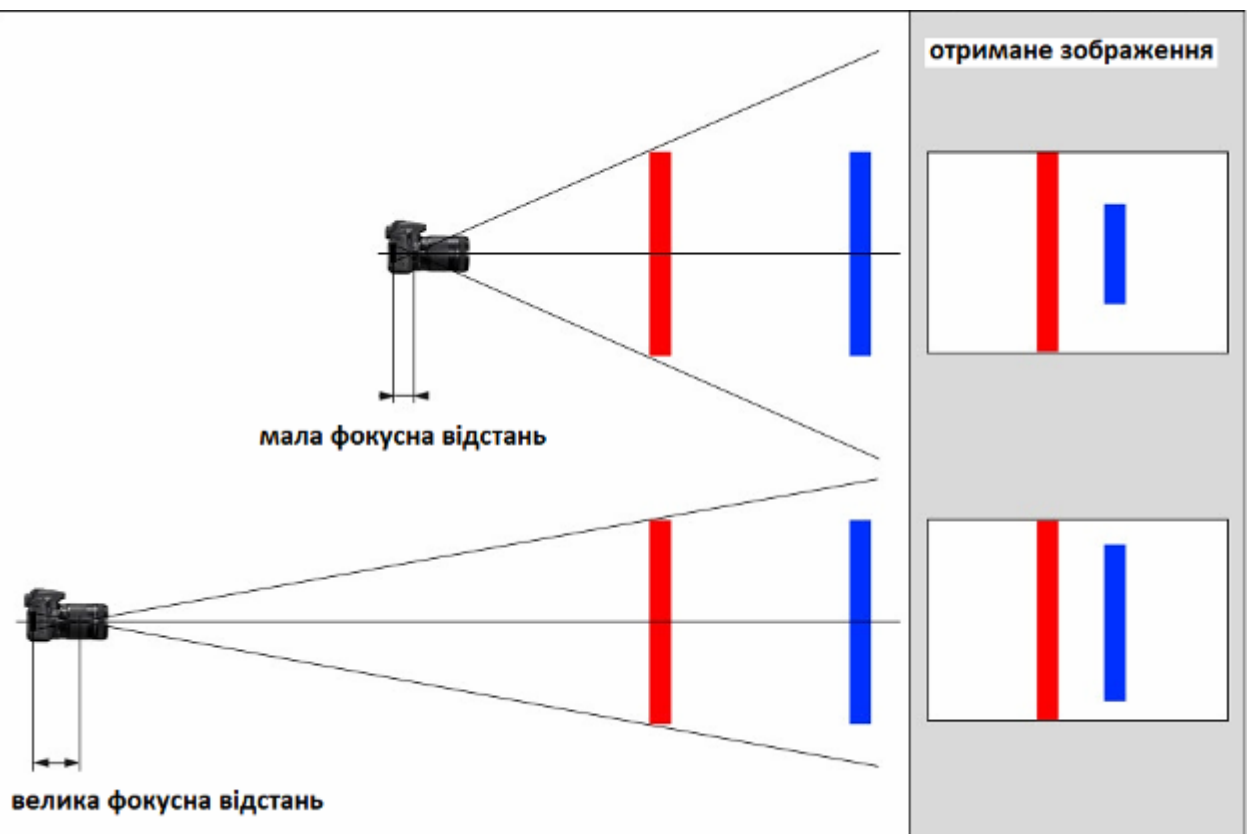


Рисунок 1.3 – Вплив кута огляду на перспективу

На рис.1.4 показано вплив фокусної відстані на зображення перспективи [2].



а)

б)

в)

г)

Рисунок 1.4 – Вплив фокусної відстані f на зображення перспективи

(а – $f = 24$ мм, б – $f = 50$ мм, в – $f = 100$ мм, г – $f = 200$ мм)

Звертає на себе увагу різний розмір зображення храму на задньому плані, при цьому розмір зображення дівчини на передньому плані приблизно однаковий.

Світлосила об'єктиву виражає кількість світла, що проходить крізь об'єктив, і дорівнює відношенню ефективної апертури об'єктива D до його фокусної відстані f .

Оскільки відношення D/f майже завжди є десятковим дробом, меншим за одиницю, його незручно використати практично. Тому на оправці об'єктива світлосила зазвичай вказана у вигляді діафрагмового числа F , що дорівнює відношенню фокусної відстані f до ефективної апертури D [4]:

$$F = \frac{f}{D}. \quad (1.3)$$

Зовнішній вигляд об'єктиву з різною діафрагмою показаний на рис.1.5 [3]. Звертає на себе увагу, що максимально відкритій діафрагмі відповідає найменше діафрагмове число.



а)

б)

в)

Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд об’єктиву з різною діафрагмою F
 (а – $F = 16$, б – $F = 5,6$, в – $F = 2,0$)

Зазвичай крок зміни діафрагмового числа об’єктиву складає $\sqrt{2}$ (рис.1.6).

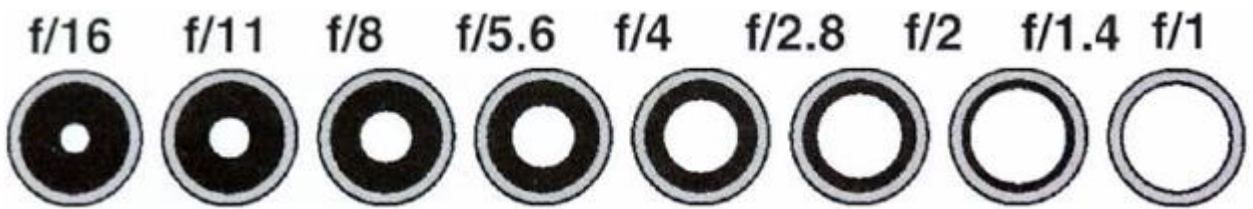


Рисунок 1.6 – Типові значення діафрагми

Це пов’язане з тим, що кількість світла, що пройде крізь об’єктив пропорційна площі його ефективного отвору, тобто освітленість на матриці

$$E \sim D^2. \quad (1.4)$$

Це означає, що при кроку зміни діафрагмового числа об’єктиву $\sqrt{2}$ зміна площі отвору і освітленості складе 2. Один такий крок зміни у фотографії називається *f-stop*.

Діафрагмове число об’єктива крім світлосили впливає також і на глибину різкості. На рис. 1.7 показано хід променів при максимально відкритій діафрагмі ($F = 1,4$) і більш прикритій діафрагмі ($F = 5,6$). З рисунку видно, що при $F = 1,4$ крайні промені потраплятимуть на матрицю під більшим кутом [4].

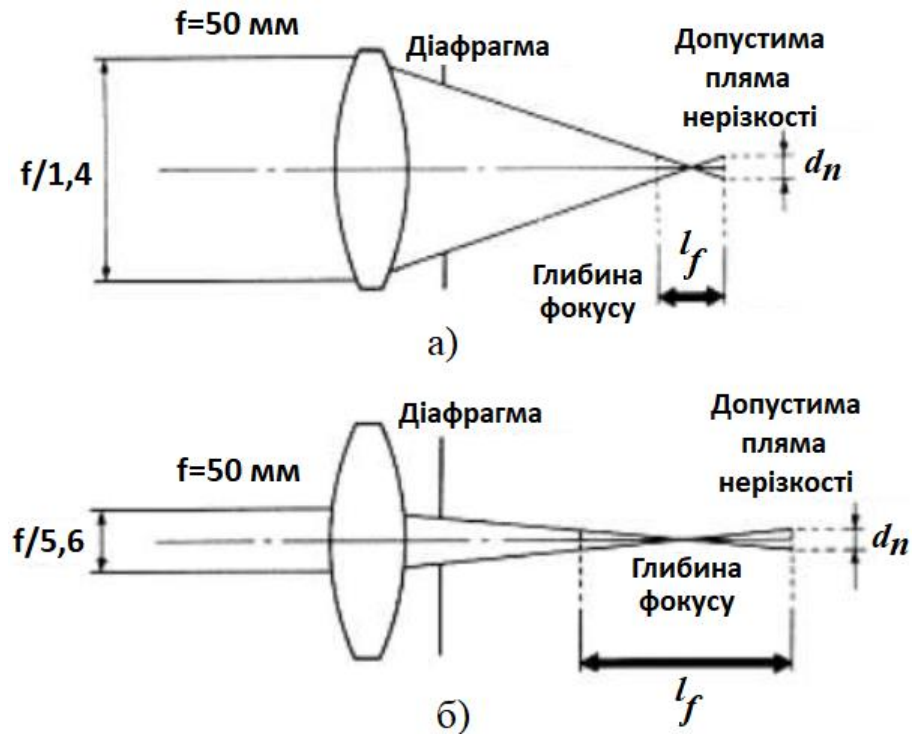


Рисунок 1.7 – Вплив діафрагмового числа на глибину різкості
(а – $F = 1,4$, б – $F = 5,6$)

Якщо задатися певним допустимим діаметром плями нерізкості d_n , то стає зрозумілим, що глибина фокусу l_f буде тим більша, чим пологіше будуть йти промені, тобто в разі більш закритої діафрагми. Та ж ситуація спостерігатиметься і в області розташування об'єкта зйомки, де глибина фокусу буде відповідати глибині різко зображуваного простору (ГРЗП, рис.1.8). Допустимий діаметр плями нерізкості приблизно можна вважати рівним кроку пікселів на матриці [2].

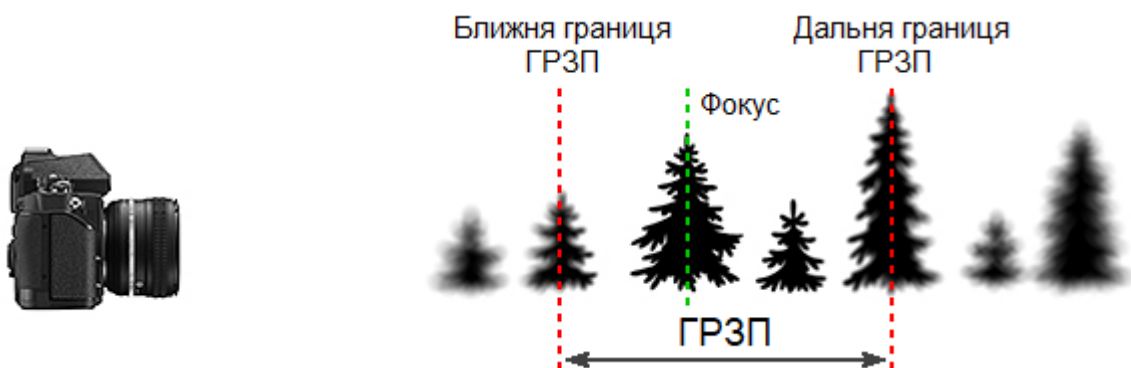


Рисунок 1.8 – Глибина різко зображуваного простору

На рис. 1.9 на прикладі предметної зйомки показано вплив діафрагми на ГРЗП. Малі значення ГРЗП використовують для художнього акцентування уваги глядача на окремих предметах або об'єктах зображення.

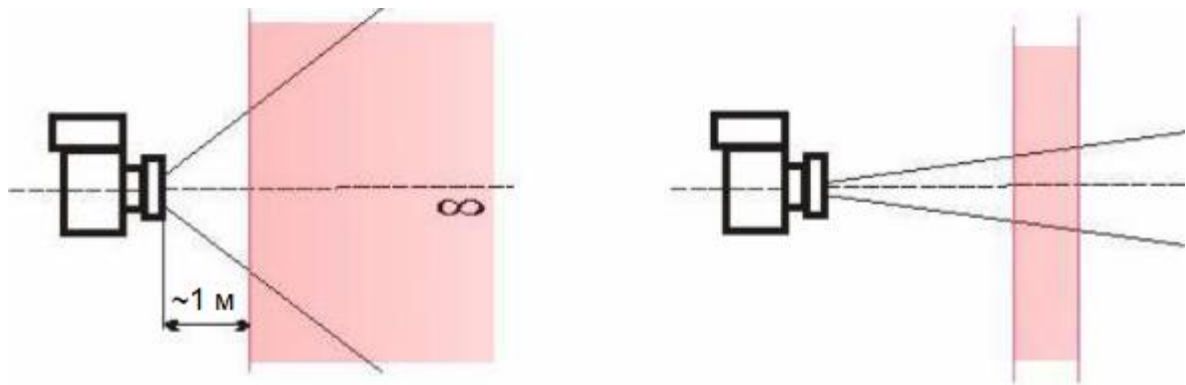


а)

б)

Рисунок 1.9 – Вплив діафрагми на ГРЗП (а – $F = 1,4$, б – $F = 16$)

На рис. 1.10 показано вплив фокусної відстані і кута зору на ГРЗП [3].



а)

б)

Рисунок 1.10 – Вплив фокусної відстані і кута зору на ГРЗП
(а – мала фокусна відстань і широкий кут зору, б – велика фокусна відстань і малий кут зору)

Тобто, довгофокусні об'єктиви мають малу ГРЗП, а ширококутні мають різке зображення майже на будь-яких відстанях.

В предметній фотографії часто використовуються макрооб'єктиви. Вони мають малі кути огляду, але на відміну від довгофокусних мають ближню границю ГРЗП декілька сантиметрів. З точки зору величини ГРЗП вони

еквівалентні довгофокусним, тобто мають малу ГРЗП. На рис. 1.11 показано приклади предметної зйомки на макрооб'єктив, де демонструється дана особливість зображення [4].

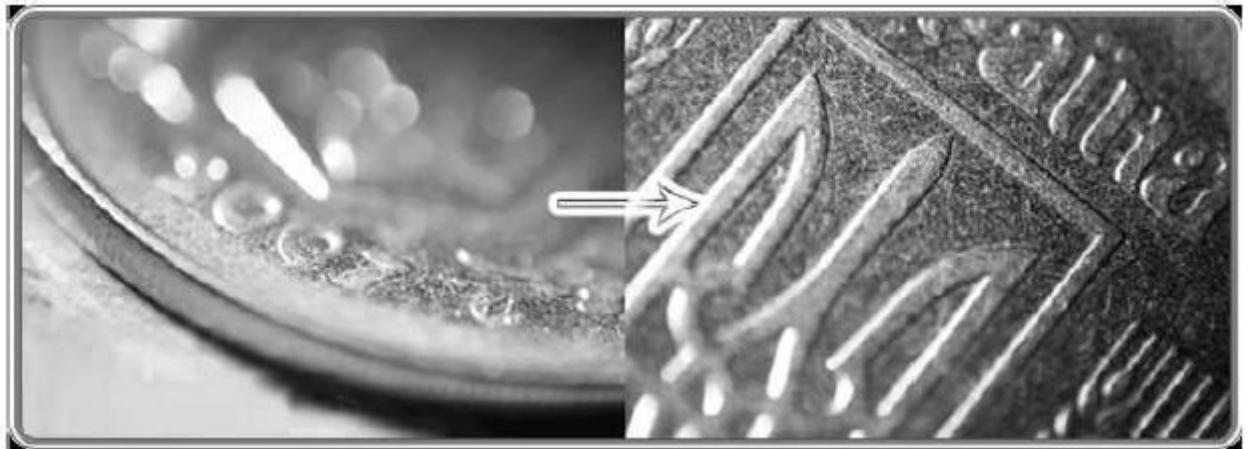


Рисунок 1.11 – Приклади предметної зйомки на макрооб'єктив

Взагалі, макрозйомка – це вид кіно та фотозйомки, при якому зображувані об'єкти знімаються в масштабі 1:10 або більше.

Ширше термін макрозйомка використовується у випадках фотографування з ближчих відстаней, ніж відстані, вказані на шкалі дистанцій об'єктивів фотокамер (мінімальна дистанція близько 0,5 м). Макрозйомка може дати дуже гарний художній ефект в предметній фотографії.

Крім зазначених технічних параметрів об'єктивів є ті, які характеризують їхні спотворення.

Роздільна здатність об'єктива – характеризує його властивості передачі чіткого зображення. Роздільна здатність оцінюється за кількістю відтворюваних штрихів на 1 мм зображення, яку може спроектувати об'єктив на матрицю цифрової камери. При цьому об'єкт повинен знаходитися у фокусі. Вимірювання роздільної здатності проводять за допомогою спеціальних мір (рис.1.12).

Аберация оптичної системи – похибка зображення в оптичній системі, що викликається відхиленням променя від того напрямку, яким він мав би йти в ідеальній оптичній системі. Аберацию характеризують різного виду порушення у структурі пучків променів, що виходять із оптичної системи.

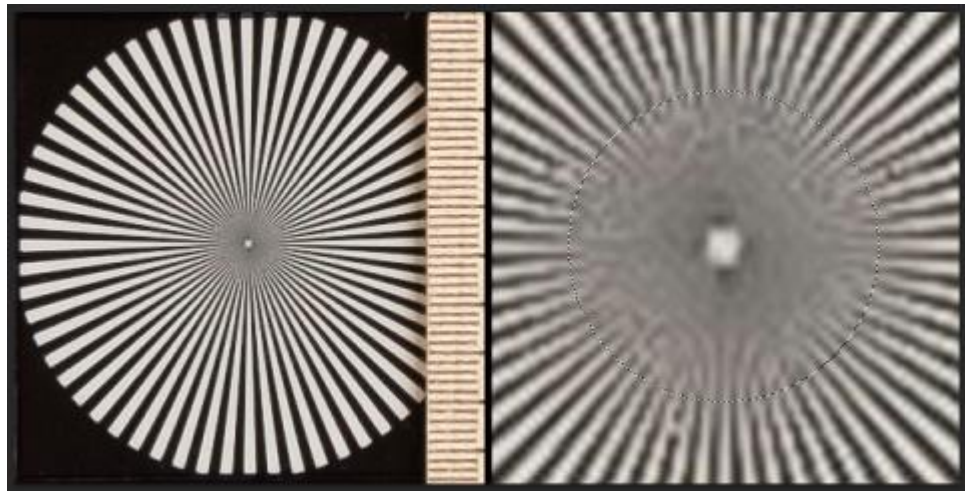


Рисунок 1.12 – Радіальна міра та її дефектна область

Аберації поділяють на монохроматичні (сферичні, коматичні, астигматизм, кривизна поля зображення, дисторсія), тобто властиві монохромним пучкам променів, і хроматичні (притаманні пучкам променів із різними довжинами хвиль).

Таким чином, характеристики об'єктивів багато в чому визначають якісні показники фотоапаратури.

1.2 Матричні перетворювачі світло-сигнал

У цифровій фото- та відеоапаратурі застосовують твердотільні перетворювачі – матриці на приладах із зарядовим зв'язком (ПЗЗ-матриці), або матриці зі зчитуванням заряду на КМОП-елементах (КМОП-матриці). Незалежно від типу зчитування, принцип роботи світлочутливих матриць ґрунтується на явищі внутрішнього фотоефекту. Завдання кожного елемента – перетворити енергію фотонів на електричний заряд [1, 5-9].

$$q = kE^\gamma, \quad (1.5)$$

де E – освітленість,

k – коефіцієнт пропорційності,

γ – показник нелінійності (залежить від властивостей напівпровідника).

У загальному вигляді конструкція елемента (пікселя) має такий вигляд (рис.1.13). Кремнієва підкладка р-типу оснащується каналами напівпровідника n-типу. Над каналами створюються електроди з полікристалічного кремнію з ізолюючим прошарком з оксиду кремнію. Після подачі такий електрод позитивного потенціалу, в збідненій зоні під каналом n-типу створюється потенційна яма, призначення якої – притягувати і зберігати електрони.

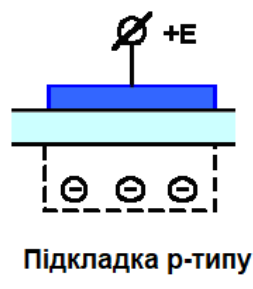


Рисунок 1.13 – Структура елемента світлочутливої матриці

Фотон, що проникає у кремній, призводить до генерації електрона, який притягується потенційною ямою і залишається в ній. Більша кількість фотонів (яскраве світло) забезпечує більший заряд ями. Потім треба зчитати значення цього заряду і підсилити його.

Зчитування зарядів ПЗЗ-елементів здійснюється так званими послідовними регістрами зсуву, які перетворюють рядок зарядів на вході у серію імпульсів на виході. Це є аналоговим сигналом, який надалі надходить на підсилювач.

Для передачі зарядових пакетів необхідно і достатньо трьох електродів: одного передавального, одного приймаючого та одного ізолюючого, що розділяє пару приймаючих і передавальних один від одного, причому однойменні електроди таких трійок можуть бути з'єднані один з одним в єдину тактову шину, що вимагає лише одного зовнішнього виводу (рис.1.14, а). Це і є найпростіший трифазний регістр зсуву на ПЗЗ [5].

Тактові діаграми роботи такого реєстру показано на рис.1.14, б. Для його нормальної роботи в кожний момент часу принаймні на тактовій шині повинен бути високий потенціал, і принаймні на одній – низький потенціал (потенціал бар'єру [6]).

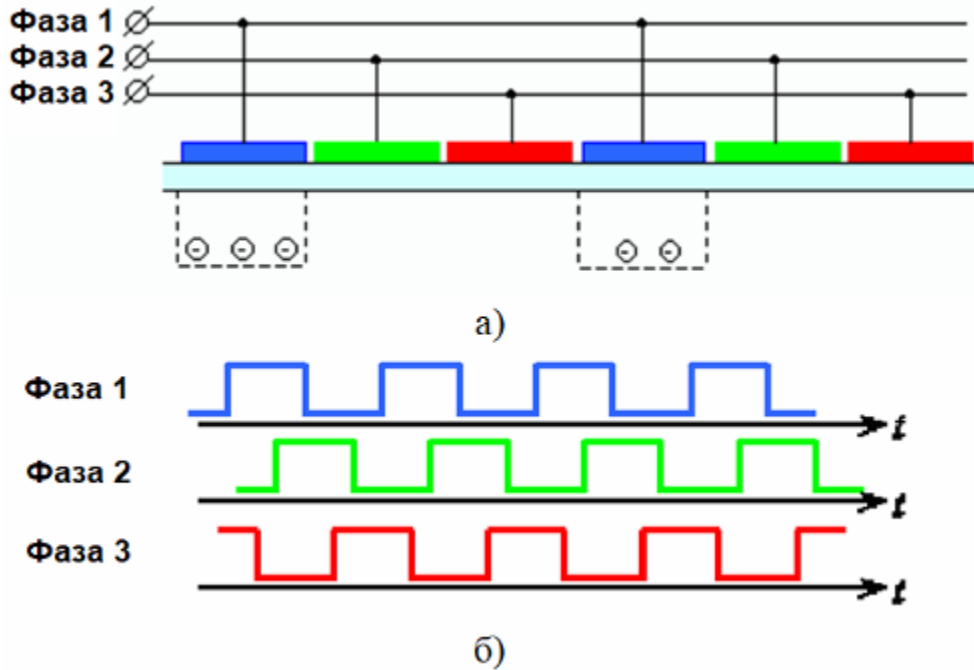


Рисунок 1.14 – Трифазна схема зчитування заряду

Загальна структура ПЗЗ-матриці показана на рис.1.15 [7].

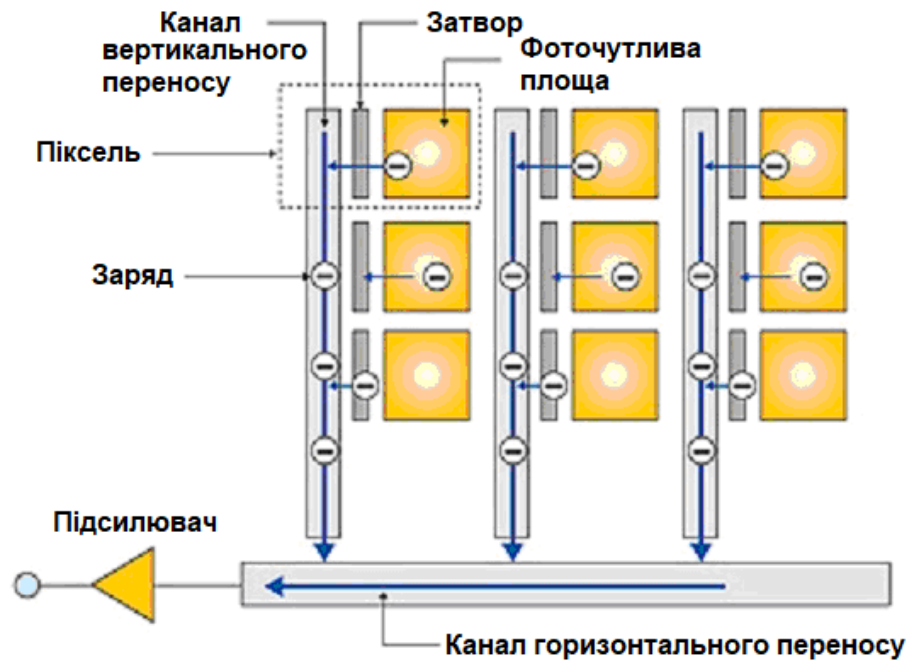


Рисунок 1.15 – Загальна структура ПЗЗ-матриці

Ця схема отримала назву матриці з буферизацією стовпців (interline CCD-matrix). У ній використовується буферний паралельний регістр зсуву, ПЗЗ-елементи якого приховані під непрозорим покриттям. Стовпці цього буфера "перетасовані" між стовпцями основного регістру. В результаті поряд з кожним стовпцем основного регістру знаходиться стовець буфера, а відразу ж після експонування фотоструми переміщуються «праворуч наліво») і всього за один робочий цикл потрапляють у буферний регістр, звільняючи потенційні ями для наступного експонування.

Заряди з буферного регістру зчитуються через послідовний регістр зсуву «згори донизу». Оскільки скидання фотострумів у буферний регістр відбувається за один цикл, навіть за відсутності механічного затвора не спостерігається розмазування заряду, як в повнокадровій матриці. А час експонування для кожного кадру здебільшого за тривалістю відповідає інтервалу, що витрачається на повне зчитування буферного паралельного регістру. Завдяки цьому з'являється можливість створити відеосигнал з високою частотою кадрів – не менше 30 к/с [7].

Загальна структура КМОП-матриці показана на рис.1.16.

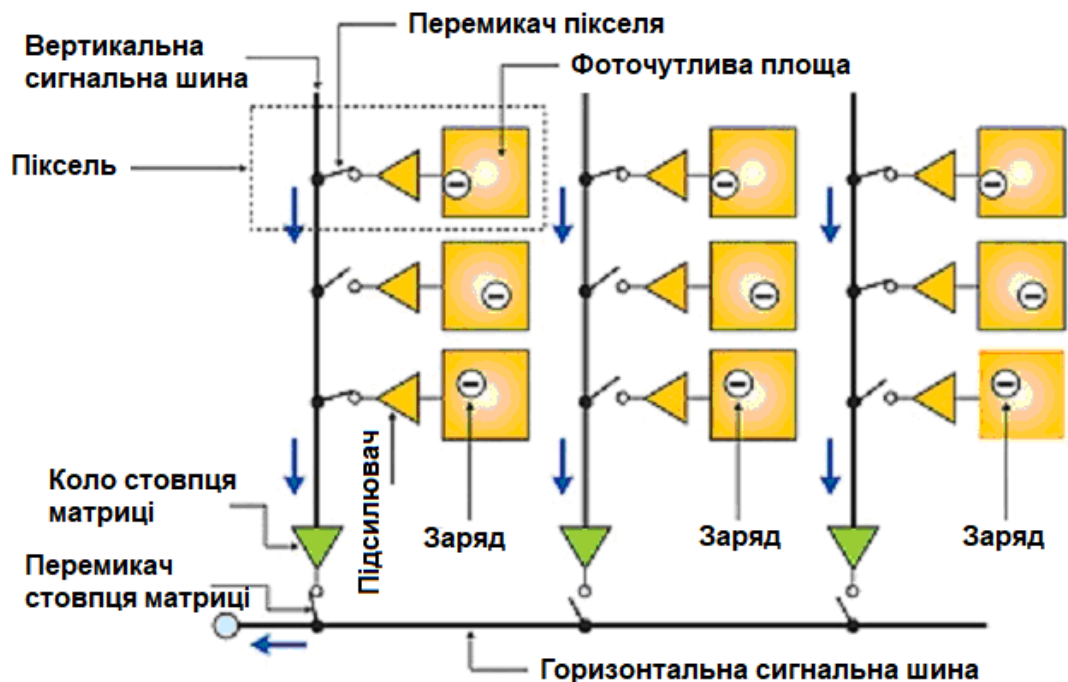


Рисунок 1.16 – Загальна структура КМОП-матриці

Як ключі в КМОП-матрицях використовуються польові транзистори з ізольованим затвором з каналами різної провідності. Тобто, існує можливість довільного доступу до заряду будь-якого елемента.

Переваги технології КМОП перед ПЗЗ [7]:

- можливість досягати високої частоти кадрів (до декількох кГц);
- можна зчитувати вибрані групи пікселів (кадроване зчитування).
- можливість застосовувати ту саму матрицю в різних режимах, обираючи баланс між роздільною здатністю і швидкістю зчитування.

Недоліки технології КМОП у порівнянні з ПЗЗ [7]:

- світлочутлива площа пікселя менша в порівнянні з ПЗЗ за рахунок обв'язки;
- наявність на матриці великого об'єму електронних елементів створює додаткове нагрівання матриці в процесі зчитування і призводить до зростання теплового шуму.

Зазначені недоліки останнім часом в цілому технологічно подолано. Зокрема, для збільшення чутливості використовують мікролінзи, щоб збільшити корисну площу світлочутливих елементів (рис.1.17).

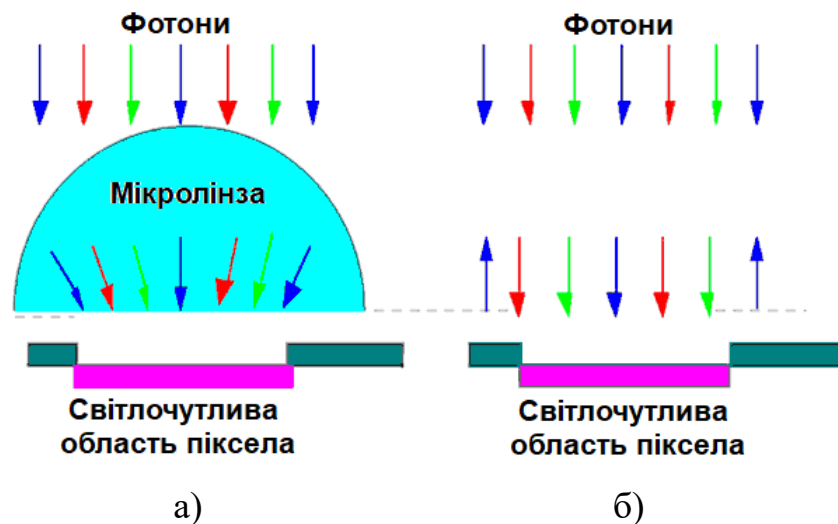


Рисунок 1.17 – Використання мікролінз для збільшення чутливості
(а – з мікролінзами, б – без мікролінз)

Недолік мікролінз полягає в тому, що при розкритті діафрагми збільшується кількість променів, які йдуть під крутим кутом, велику

кількість яких мікролінзи відсікають. З цим борються, розташовуючи мікролінзи якомога ближче до світлочутливої частини.

1.3 Технічні характеристики фото- і відеокамер

Чутливість фотокамери – це мінімальна освітленість E_{\min} на об'єкті або об'єктиві, при якій на виході можна отримати зображення із пороговим відношенням сигнал-шум. Пороговим значенням сигнал-шум в зображенні вважають 20...30 дБ в залежності від задач, які вирішує камера.

Сигнал зображення визначається кількістю фотоелектронів N_{ϕ} , які накопичує піксель за час експонування кадру [7]

$$N_{\phi} = \frac{E \cdot S \cdot T_e}{\bar{W}_{\phi}} \cdot \eta, \quad (1.6)$$

де E – енергетична опроміненість, Вт/м²;

S – площа пікселя, м²;

T_e – час експонування, с;

$\bar{W}_{\phi} = h\bar{\nu}$ – середня енергія фотона, Дж;

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постійна Планка;

$\bar{\nu}$ – середня частота випромінення джерела світла, Гц;

η – квантовий вихід.

Освітленість $E[\text{лк}]$ пов'язана з енергетичною опроміненістю $E[\text{Вт}/\text{м}^2]$ через криву видності ока $K(\lambda)$ та коефіцієнт пропорційності $V_0 = 683 \text{ лк м}^2/\text{Вт}$ [8]:

$$E[\text{лк}] = V_0 \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E[\text{Вт}/\text{м}^2](\lambda) \cdot K(\lambda) d\lambda. \quad (1.7)$$

Для рівноенергетичного білого джерела світла $E(\lambda)=\text{const}$, і формула (1.7) перетворюється на простий вираз [8].

$$E[Bm/m^2] = \frac{E[лк]}{V_0 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} K(\lambda) d\lambda}. \quad (1.7)$$

Площа під кривою видності ока $\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} K(\lambda) d\lambda = 0,355$. Тоді

$$E[Bm/m^2] = \frac{E[лк]}{683 \cdot 0,355} = \frac{E[лк]}{242}. \quad (1.8)$$

Шуми матриць розділяються на теплові, фотонні і електронні шуми кіл зчитування та підсилення. В сучасних матрицях перевагу мають перші два види шумів. Це незалежні один від одного випадкові процеси, розподілені по закону Пуассона. Якщо середнє значення випадкового процесу Пуассона \bar{N} , то середньоквадратичне значення шуму [5]

$$N = \sqrt{\bar{N}}. \quad (1.9)$$

Сумарний шумовий ефект можна отримати шляхом складання дисперсій N_1^2, N_2^2, \dots незалежних шумових процесів [5]:

$$N_{ш} = \sqrt{N_1^2 + N_2^2 + \dots} = \sqrt{\bar{N}_1 + \bar{N}_2 + \dots}, \quad (1.10)$$

де $\bar{N}_1, \bar{N}_2, \dots$ – середні значення незалежних шумових процесів.

Відношення сигнал-шум в дБ можна розрахувати за формулою [1]

$$SNR = 20 \lg \frac{N_{\phi}}{N_{ш}}. \quad (1.11)$$

Для підвищення чутливості застосовують охолодження матриць (елементи з ефектом Пельтьє). При зменшенні температури на $6...7^{\circ}$ теплові шуми зменшуються вдвічі.

Для усунення «гарячих» дефектних пікселів (hot pixels), що шумлять більше за інші, з усіх кадрів віднімають темнову маску, зроблену при закритому об'єктиві.

Світлова характеристика – це залежність величини сигналу зображення від освітленості (рис.1.18). Показник нелінійності твердотільних матричних перетворювачів $\gamma = 1$ на робочій ділянці 1-2 [9].

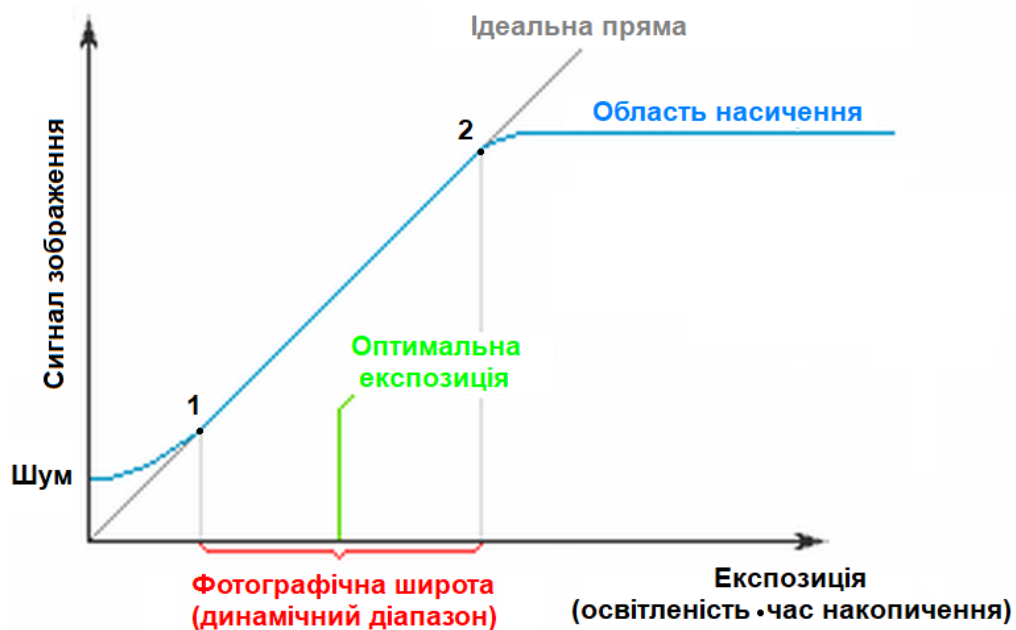


Рисунок 1.18 – Світлова характеристика камери

При низьких і високих експозиціях лінійність світлової характеристики порушується. Знизу спостерігається вплив шуму, а зверху – насичення пікселів фотоелектронами. Експозиція дорівнює добутку освітленості на матриці і часу накопичення (витримки) [9]:

$$Exp = E \cdot T_e. \quad (1.12)$$

Відносну величину лінійної ділянки світлової характеристики камери називають динамічним діапазоном. Динамічний діапазон можна вимірювати в різних одиницях [9]:

$$D = \frac{Exp_{\max}}{Exp_{\min}}, \text{ [відносні одиниці]}, \quad (1.13)$$

$$D = \lg \frac{Exp_{\max}}{Exp_{\min}}, \text{ [D-одиниці]}, \quad (1.14)$$

$$D = \lg_2 \frac{Exp_{\max}}{Exp_{\min}}, \text{ [f-stop]}, \quad (1.15)$$

$$D = 10 \lg \frac{Exp_{\max}}{Exp_{\min}}, \text{ [дБ]}. \quad (1.16)$$

Найбільший динамічний діапазон мають камери з великим фізичним розміром матриці (повнокадрові, 24 x 36 см). Вони мають велику стійкість до пересвіту (насичення) і найменший рівень шумів відносно корисного сигналу.

Для збільшення динамічного діапазону зображення застосовують алгоритми HDR (High Dynamic Range). Вони полягають в зйомці декількох кадрів при різних значеннях експозиції (рис.1.19) і компонуванні цих кадрів в єдине зображення таким чином, щоби в результаті усі освітленості в кадрі потрапили на лінійну ділянку світлової характеристики камери (рис.1.20).



Exp_1 > Exp_2 > Exp_3

Рисунок 1.19 – Зйомка декількох кадрів при різних значеннях експозиції в режимі HDR



Рисунок 1.20 – Скомпоноване зображення (а) і результат пост-обробки (б)

Недоліком обробки HDR є збільшення загального часу створення знімку і підвищені вимоги до нерухомості об'єкту і камери під час зйомки.

1.4 Висновки по розділу 1

Головним фактором, що визначає якість зображення фото- і відеокамер є фізичний розмір перетворювача світло-сигнал. Це дає можливість досягти високої чутливості камери, малого рівня шумів відносно сигналу, широкого динамічного діапазону знімків. Також в парі з великою матрицею можна використати об'єктив з великою апертурою, що збільшує світлосилу і зменшує рівень оптичних аберацій.

На жаль, смартфони внаслідок своїх невеликих розмірів і тонкого форм-фактору не дозволяють фізично використати в своїх камерах великі матриці і об'єктиви. Тому характеристики їх камер помітно гірше, ніж у професійної фотоапаратури.

Останнім часом розробники задали тенденцію використання у смартфоні декількох камер з різними характеристиками з наступним комбінуванням зображень цих камер в єдине вихідне зображення. Таких камер може бути від 2 до 4, у них може відрізнитися роздільна здатність, світлосила і фокусна відстань об'єктиву, наявність або відсутність кольорних світлофільтрів Байєра (тобто кольорна або чорно-біла камера).

Такий підхід дозволяє адаптувати камеру для зйомки в різних умовах. Наприклад, при зйомці в умовах недостатнього освітлення пріоритет віддається чорно-білій камері як найбільш чутливій, сигнали сусідніх пікселів колірної камери об'єднуються, при цьому колірна чіткість зображення суттєво зменшується, але збільшується відношення сигнал-шум в каналі колірності.

При зйомці в умовах гарної освітленості, навпаки, пріоритет віддається колірній камері з максимальною роздільною здатністю. Сучасні технології дозволяють отримати роздільну здатність матриць до 200 Мпікс. Але зрозуміло, що такі матриці, особливо невеликих фізичних розмірів, можуть задовільно працювати лише при денному або студійному освітленні.

Предметну зйомку можна віднести до різновиду студійної зйомки. Вона відбувається при штучному освітленні, світловий потік ламп, освітленість на об'єкті і положення джерел світла можна контролювати і змінювати під будь-які потрібні об'єкти зйомки, додаткові аксесуари, оточення і фон. Тому можна очікувати, що предметна фото- і відео зйомка на камеру сучасного смартфона може дати результати, які майже не відрізнятимуться від професійної фото- та відеотехніки.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є оцінка достатніх технічних умов для отримання фото- і відеозображень предметної зйомки, якісні показники яких будуть відповідати зображенням професійних фото- і відеокамер.

Дана кваліфікаційна робота магістра виконана на кафедрі Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем ХНУРЕ. На кафедрі МІРЕС проводяться дослідження в таких наукових областях, як виявлення та розпізнавання БПЛА за результатами відеоспостереження [14-19], систем технічного зору роботів [20, 21]. Цілий ряд студентських доповідей [22-25] присвячені тематиці обробки зображень. Отже, тематика даної кваліфікаційної роботи відповідає традиційному науковому напрямку кафедри МІРЕС.

2 ТЕОРЕТИЧНІ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗІНМАЛЬНОЇ ТА ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ЗЙОМКИ

2.1 Оцінка чутливості камери смартфона

Проведемо оцінку чутливості камери сучасного смартфона в різних режимах без врахування постобробки зображення. Розрахунки проведемо на прикладі смартфона Xiaomi Redmi Note 10 Pro. Цей смартфон з'явився відносно недавно і став дуже популярною моделлю лінійки Redmi Note.

Смартфон має 4 задні камери (рис.2.1) [26].



Рисунок 2.1 – Задні камери смартфона Xiaomi Redmi Note 10 Pro

На задній панелі знаходяться такі камери:

- основна 108-мегапіксельна камера із широким кутом огляду. Встановлено досить великий сенсор Samsung ISOCELL HM2 з діагоналлю (1/1,52)”. Доповнений він об'єктивом зі світлосилою $F=1,9$. Оптичної стабілізації на основній камері немає;
- додаткова 8-мегапіксельна ультраширококутна камера (сенсор Sony IMX355). Об'єктив зі світлосилою $F=2,2$;
- окрема 5-мегапіксельна камера для макрозйомки.
- окремий 2-мегапіксельний датчик «глибини сцени» для штучного розмиття фону (портретна зйомка), який працює в стереопарі з основною камерою.

В табл.2.1 наведені детальні технічні характеристики камер смартфона Xiaomi Redmi Note 10 Pro [26].

Таблиця 2.1 – Детальні технічні характеристики камер смартфона Xiaomi Redmi Note 10 Pro

№	Призначення	Об'єктив		Матриця	
		Світлосила	Кут огляду	Мпікс	Діагональ
1	Основна (ширококутна)	f/1,9	79°	108	(1/1,52)"
2	Ультраширококутна	f/2,2	118°	8	(1/4,0)"
3	Макро	f/2,4	н/д	5	н/д
4	Датчик глибини	f/2,4	н/д	2	н/д

* н/д – не дано виробником

В звичайному режимі для основної камери смартфон використовує технологію біннінгу 9-в-1, коли пікселі об'єднуються в більші групи по 9 пікселів, що дозволяє пропорційно збільшити еквівалентну площу пікселя і світлочутливість (рис.2.2) [26].

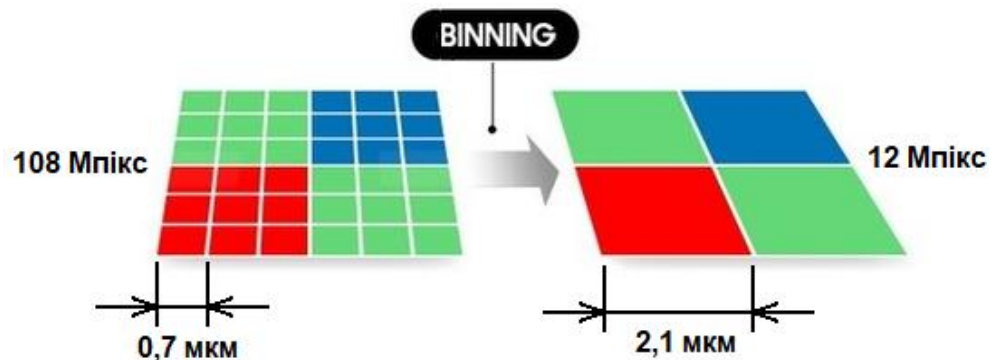


Рисунок 2.2 – Зміна еквівалентного розміру пікселя і роздільної здатності внаслідок біннінгу

Оцінимо чутливість основної камери в режимі біннінгу і без нього. Межею чутливості вважатимемо відношення сигнал-шум 20 дБ. З формули (1.6) енергетична опроміненість матриці [7, 8]:

$$E = \frac{N_{\phi} \cdot \bar{W}_{\phi}}{S \cdot T_e \cdot \eta}, \quad (2.1)$$

де N_{ϕ} – кількість фотоелектронів, які накопичує піксель за час експонування кадру;

S – площа пікселя, м²;

T_e – час експонування, с;

$\bar{W}_{\phi} = h\bar{\nu}$ – середня енергія фотона, Дж;

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постійна Планка;

$\bar{\nu}$ – середня частота випромінення джерела світла, Гц;

η – квантовий вихід.

Для оцінки середньоквадратичного значення шумів сучасних матриць можна користуватися виразом [7, 8]

$$N_{ш} \approx \sqrt{2N_{\phi}}. \quad (2.2)$$

Коефіцієнт 2 у формулі (2.2) враховує те, що тепловий і фотонний шум матриць без охолодження приблизно однаковий.

Тоді відношення сигнал-шум

$$\frac{N_{\phi}}{N_{ш}} = \frac{N_{\phi}}{\sqrt{2N_{\phi}}} = 10^{SNR/20}, \quad (2.3)$$

де SNR – порогове значення сигнал-шум, дБ.

З виразу (2.3)

$$N_{\phi} = 2 \cdot 10^{SNR/10}. \quad (2.4)$$

Підставляючи (2.4) в формулу (2.1), отримаємо

$$E = \frac{2 \cdot 10^{SNR/10} \cdot \bar{W}_\phi}{S \cdot T_e \cdot \eta}, \quad (2.5)$$

Середня енергія фотону

$$\bar{W}_\phi = h\bar{\nu} = h \frac{c}{\bar{\lambda}}, \quad (2.6)$$

де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість світла;

$\bar{\lambda} = 555$ нм – середня довжина хвилі видимого діапазону.

Тоді з врахуванням, що постійна Планка $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, вираз (2.6) запишемо як

$$\bar{W}_\phi = h \frac{c}{\bar{\lambda}} = 6,626 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{555 \cdot 10^{-9}} = 3,58 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}. \quad (2.7)$$

Підставляючи (2.7) в формулу (2.5), отримаємо

$$E = \frac{7,2 \cdot 10^{0,1 \cdot SNR - 19}}{S \cdot T_e \cdot \eta}, \text{ [Вт/м}^2\text{]}. \quad (2.8)$$

Формула дає значення енергетичної опроміненості на матриці, необхідної для отримання заданого відношення сигнал-шум SNR . З урахуванням виразу (1.8) цьому значенню відповідатиме освітленість:

$$E = \frac{1,74 \cdot 10^{0,1 \cdot SNR - 16}}{S \cdot T_e \cdot \eta}, \text{ [лк]}. \quad (2.9)$$

або з врахуванням $S = d^2$, де d – розміру пікселя:

$$E = \frac{1,74 \cdot 10^{0,1 \cdot SNR - 16}}{d^2 \cdot T_e \cdot \eta}, \text{ [лк]}. \quad (2.10)$$

При оцінці чутливості контролюють освітленість на об'єкті E_o . В світлочутливій площині сенсора відеокамери освітленість буде ослаблена в порівнянні з E_o , вона розраховується за виразом

$$E = \frac{E_o \cdot \rho \cdot \tau}{4 \cdot F^2}, \text{ [лк]}, \quad (2.11)$$

де E_o – освітленість на об'єкті, лк;

ρ – коефіцієнт світловідбиття об'єкта;

τ – коефіцієнт світлопропускання об'єктива;

F – діафрагмове число об'єктива.

З виразу (2.11)

$$E_o = \frac{4 \cdot F^2 \cdot E}{\rho \cdot \tau}, \text{ [лк]}. \quad (2.12)$$

Підставляючи (2.10) в (2.12), отримаємо:

$$E_o = \frac{7 \cdot F^2 \cdot 10^{0,1 \cdot SNR - 16}}{\rho \cdot \tau \cdot d^2 \cdot T_e \cdot \eta}, \text{ [лк]}. \quad (2.13)$$

При пороговому значенні $SNR=30$ дБ, $d=2,1$ мкм, $F=1,9$, $\rho=0,75$, $\tau=0,85$, $T_e=1/30$ с, $\eta=0,8$ розрахункове значення

$$E_o = \frac{7 \cdot 1,9^2 \cdot 10^{0,1 \cdot 30 - 16}}{0,75 \cdot 0,85 \cdot 2,1^2 \cdot (1/30) \cdot 0,8} = 33,7 \text{ [лк]}. \quad (2.14)$$

При пороговому значенні $SNR=20$ дБ (стандарт для камер відеоспостереження) розрахунок по формулі (2.13) дає значення $E_o = 3,4$ лк.

В цілому, отримані значення відповідають чутливостям сучасних поширених колірних відеокамер. Розрахунки потрібної освітленості зведені в табл.2.2 для різної роздільної здатності камери (12 Мпікс, 108 Мпікс), і різного відношення сигнал-шум (20 дБ, 30 дБ, 40 дБ, 50 дБ).

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків потрібної освітленості на об'єкті

SNR, дБ	20		30		40		50	
Мпікс	12	108	12	108	12	108	12	108
E_o , лк	3,4	30,3	34	303	340	3034	3400	30340

З табл. 2.2 випливає, що зйомка в режимі 108 Мпікс з витримкою 1/30 с можлива лише при денному освітленні. При $E_o > 10000$ лк досягаються значення $SNR > 45$ дБ. Студійне освітлення з $E_o \approx 1000$ лк не може дати високої якості зображення, можна досягнути лише значення $SNR=35$ дБ.

Якщо мова йде про фотографію нерухомих об'єктів, то є можливість збільшувати витримку T_e . Оцінимо вплив різних факторів на відношення сигнал-шум. Для цього виразимо SNR з формули (2.13):

$$SNR = 10 \lg \left(\frac{E_o \cdot \rho \cdot \tau \cdot d^2 \cdot T_e \cdot \eta}{7 \cdot F^2} \right) + 160, \quad (2.15)$$

або якщо підставляти d одразу в мкм

$$SNR = 10 \lg \left(\frac{E_o \cdot \rho \cdot \tau \cdot d_{MKM}^2 \cdot T_e \cdot \eta}{7 \cdot F^2} \right) + 40. \quad (2.15)$$

На рис.2.3 показані графіки залежності відношення сигнал-шум SNR в зображенні від освітленості на об'єкті E_o для двох роздільних здатностей матриці: 108 Мпікс (без бінінгу, $d = 0,7$ мкм) та 12 Мпікс (з бінінгом 9-в-1, $d = 2,1$ мкм) при витримці $T_e = 1/30$ с. Таке значення витримки відповідає режиму зйомки відео.

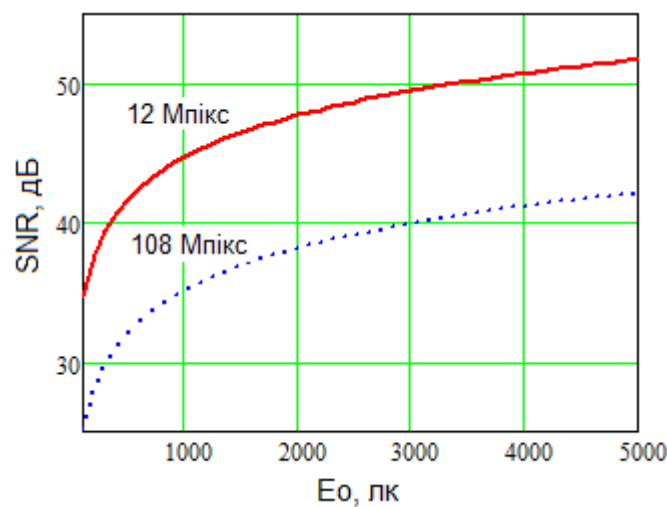


Рисунок 2.3 – Залежності відношення сигнал-шум SNR від освітленості E_o в режимах 108 Мпікс і 12 Мпікс при витримці $T_e = 1/30$ с

Аналіз графіків на рис.2.3 показує, що режим 108 Мпікс може реалізувати свої можливості лише при денному сонячному світлі. При студійній освітленості $E_o = 1000$ лк при витримці $T_e = 1/30$ с відношення сигнал-шум для цього режиму лише $SNR = 36$ дБ. По шкалі якості це задовільний результат, але недостатній для отримання професійного фото. Відношення сигнал-шум 45 дБ при даній витримці досяжні лише при освітленості 10000 лк (зимовий день), а 50 дБ – при освітленості 30000 лк (хмарний літній день). Тобто, можна стверджувати, що режим 108 Мпікс здебільшого є рекламним ходом, і повністю реалізувати можливості цього режиму можна тільки при зйомці надворі вдень. Натомість в режимі

об'єднання пікселів 9-в-1 при роздільній здатності 12 Мпікс відношення сигнал-шум досягає значення $SNR=45$ дБ при $E_o=1000$ лк (студійне світло) і $SNR=50$ дБ при $E_o=3000$ лк (зйомка в похмуру погоду).

Покращити відношення сигнал-шум в режимі фото можна при збільшенні витримки. На рис.2.4 показані графіки залежності відношення сигнал-шум SNR в зображенні від витримки T_e для роздільних здатностей 108 Мпікс і 12 Мпікс при освітленні на об'єкті $E_o=1000$ лк. Таке значення освітленості відповідає зйомці при студійному неперервному освітленні.

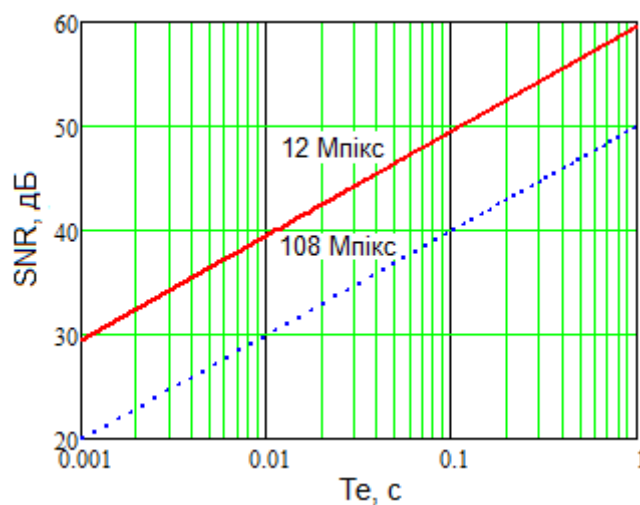


Рисунок 2.4 – Залежності відношення сигнал-шум SNR від витримки T_e в режимах 108 Мпікс і 12 Мпікс при освітленості $E_o=1000$ лк

Аналіз графіків на рис.2.4 показує, що при студійному освітленні 1000 лк якісні знімки з роздільною здатністю 108 Мпікс можна отримати при великому значенні витримки $T_e=1$ с, лише тоді відношення сигнал-шум $SNR=50$ дБ. Зрозуміло, що це накладає підвищені вимоги до нерухомості об'єкта і камери під час зйомки. Смартфон повинен міцно стояти на штативі, а спуск затвора бажано проводити дистанційно по блютуз пульту керування.

Інколи в предметній зйомці потрібно знімати швидкоплинні процеси, наприклад бризки, краплі, воду, що ллється, цукор або зерна кави, що сиплюються. В такому випадку потрібно ставити малі значення витримки, щоби «заморозити» зображення, $T_e < 0,001$ с. З рис.2.4 випливає, що навіть в

режимі 12 Мпкс слід очікувати дуже помітних шумів ($SNR < 30$ дБ). Слід провести додаткове дослідження цього режиму в практичній частині роботи.

Отримані графіки можна використовувати фотографам, які займаються предметною зйомкою в студії або за її межами, для правильного вибору експопари, тобто комбінації освітленості і часу витримки. Отримані інженерні формули для розрахунку чутливості і відношення сигнал-шум можна використовувати при плануванні фото- і відеозйомки на камери смартфонів, при проектуванні систем відеоспостереження та інших прикладних телевізійних систем.

2.2 Оцінка характеристик і вибір системи освітлення

У фотографів сьогодні є багато варіантів освітлення для своєї студії. Джерела світла можна поділити на постійні і імпульсні [12].

З точки зору фотографії, постійне світло – це постійно увімкнене штучне джерело освітлення, яке використовується під час зйомки, щоб забезпечити потрібний рівень освітлення і світлотіньовий малюнок. Його можна використовувати з різними модифікаторами: розсіювачами, рефлекторами, світлофільтрами, стільниками і т. ін.

Інший тип освітлення – імпульсний. Він активізується на короткий період часу, коли фотограф робить кадр. Спалах спрацьовує, коли опускається затвор, швидко освітлюючи об'єкт, а потім вимикається.

В предметній зйомці краще використовувати постійне світло, щоб відразу бачити ефекти освітлення. Переміщаючи освітлювальний прилад навколо об'єкта, можна побачити, як виглядатиме зображення. Іншою важливою перевагою є те, що постійне світло підходить для відеозйомки. В нашому випадку ми плануємо знімати у студії не лише фотографії, а й відеоролики, тому потрібне саме постійне джерело освітлення.

В якості джерела освітлення оберемо софт-бокс як такий, що дає найменше різких тіней і яскравих бліків, що є важливим для предметної фотографії і відеозйомки.

На рис. 2.5 показана геометрія взаємного розташування освітлювального приладу відносно моделі, розташованої на предметному столику.

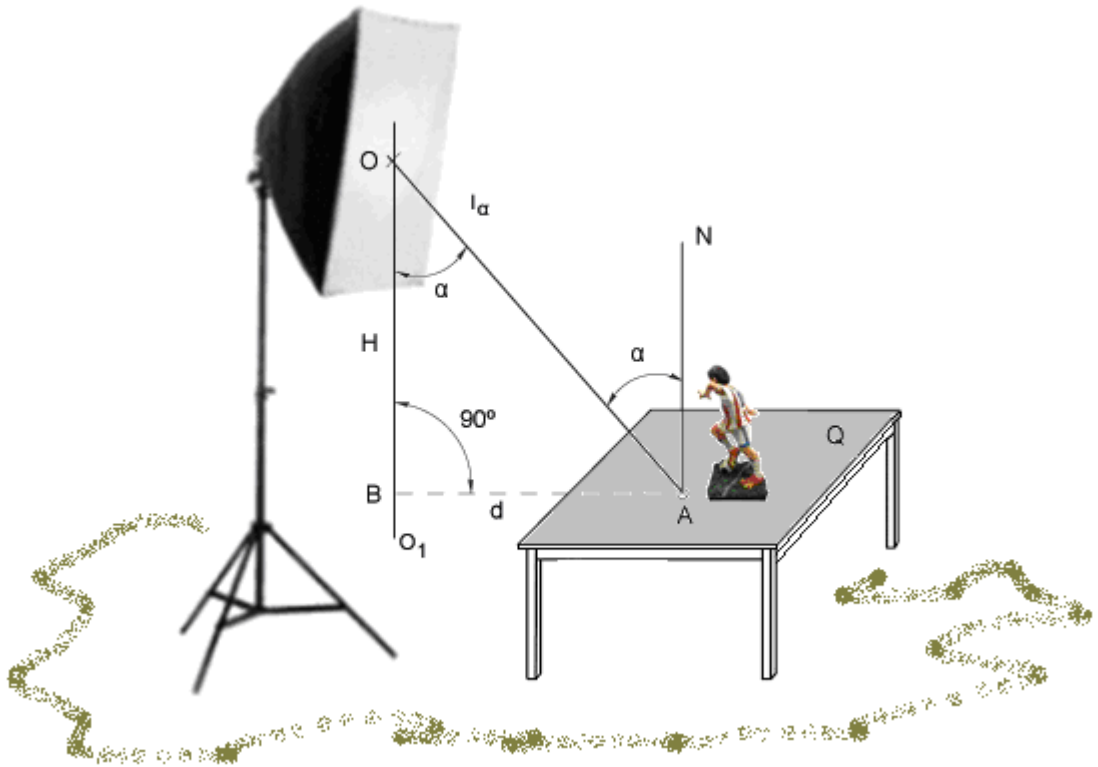


Рисунок 2.5 – Геометрія взаємного розташування освітлювального приладу і предмета

Щоби розрахувати освітленість по осьовій координаті використаємо закон квадратів відстаней [12]:

$$E = \Phi \cdot \cos\varphi / r^2, \quad (2.16)$$

де Φ – світловий потік приладу освітлення,

r – відстань від приладу освітлення до предмету зйомки.

Зазвичай обчислюють освітленість в вертикальній чи горизонтальній площинах. Для отримання освітленості в горизонтальній площині при використанні світильника з вертикальною віссю симетрії вираз (2.16) можна привести до більш зручного вигляду. В цьому випадку кут падіння світла на горизонтальну площину дорівнюватиме куту, що утворений віссю симетрії і променем. Тому відстань від приладу (точка О) до предмета (точка А) можна виразити через висоту освітлювального приладу над площиною предметного столика [12]:

$$E_2 = \Phi \cdot \cos^3 \alpha / H^2. \quad (2.17)$$

На рис. 2.6 показана геометрія для визначення освітленості в вертикальній площині E_v .

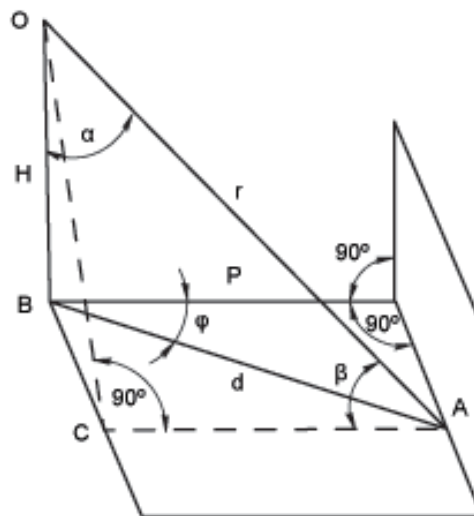


Рисунок 2.6 – Геометрія для визначення освітленості в вертикальній площині E_v

Для розрахунку освітленості у горизонтальній площині виконаємо таку послідовність операцій [12]:

– визначимо тангенс кута падіння світлових променів:

$$\operatorname{tg} \alpha = d / H, \quad (2.18)$$

де d – відстань між точкою В (проекцією центру приладу освітлення на площину Q) і точкою А, де знаходиться предмет зйомки;

– по знайденому значенню (2.18) визначимо кут α і $\cos^3\alpha$;

– по кривій сили світла освітлювального приладу знаходимо силу світла $I(\alpha)$ для кута α ;

– розрахуємо освітленість E_2 в точці А.

Освітленість у вертикальній площині визначимо із загального рівняння квадратів відстаней, спростивши його. Для прямокутного трикутника ОАС (рис. 2.6):

$$\cos\beta = AC/OA \text{ або } \cos\beta = P/r, \quad (2.19)$$

де P – відстань від вертикальної площини до точки О.

На практиці для розрахунків будемо використовувати не відстань r , а висоту приладу освітлювального прибору над предметним столиком H . Підставляючи у вираз (2.16) замість r величину H , а замість E_2 значення E_2 , отримуємо:

$$E_2 = E_2 \cdot \frac{P}{H}. \quad (2.20)$$

Якщо промінь світла, що падає в точку А, лежить в площині, перпендикулярній до освітлюваної вертикальної площини, вираз (2.20) набуде вигляду:

$$E_2 = E_2 \cdot \operatorname{tg}\alpha, \quad (2.21)$$

оскільки в цьому випадку $P = d$.

Вертикальна площина характеризується максимальною освітленістю. При її повороті на кут φ освітленість буде зменшуватися, оскільки $P/d = \cos\varphi$. Тому

$$E_{\phi} = E_{\text{max}} \cdot \cos \varphi. \quad (2.22)$$

Використаємо софт-бокс розміром 60х90 см на 5 ламп із штативом з максимальною висотою 2,4 м (рис.2.7).



Рисунок 2.7 – Софт-бокс 60х90 см на 5 ламп із штативом

В якості ламп використаємо LED лампи OSRAM з характеристиками, вказаними в табл.2.3 [27].

Таблиця 2.3 – Характеристики використаних ламп

Параметр	Значення
Електрична потужність, Вт	13
Світловий потік, лм	1521
Колірна температура, К	4000
Індекс передачі кольору, Ra	>90

Розрахуємо значення освітленості на предметі в залежності від положення світильника (глибини і висоти) по формулах [12]:

$$E_2 = \Phi \cdot \cos^3(\arctg(d / H)) / H^2. \quad (2.23)$$

$$E_g = \Phi \cdot d \cdot \cos^3(\arctg(d/H)) / H^3, \quad (2.24)$$

Світловий потік використаємо максимальний для всіх п'яти включених ламп:

$$\Phi = 5 \cdot 1521 = 7605 \text{ лм.} \quad (2.25)$$

Результати розрахунків наведені на графіках рис.2.8 – рис.2.9.

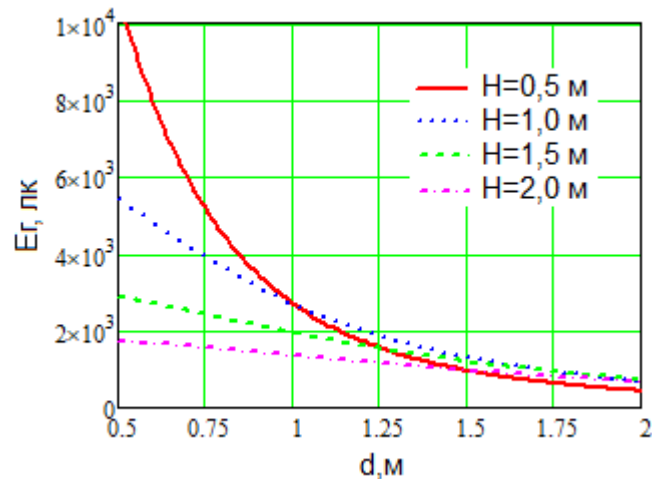


Рисунок 2.8 – Освітленість на предметі в горизонтальній площині

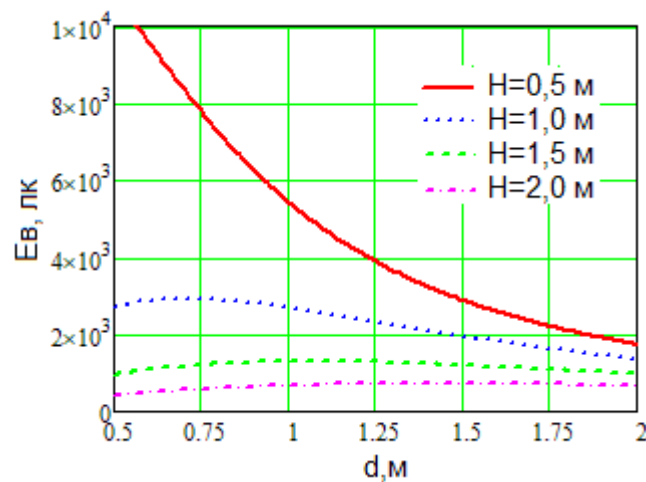


Рисунок 2.9 – Освітленість на предметі в вертикальній площині

З графіків на рис.2.8 і рис.2.9 видно, що на відстанях не більше 1,5 м при будь-якій висоті світильника до 2 м освітленість на об'єкті буде не нижче 1000 лк, що задовольняє умовам чутливості камери смартфона в звичайному

режимі 12 Мпікс без бінінгу. Зйомку в режимі 108 Мпікс доцільно проводити при висоті світильника не більше 1 м, оптимальне значення 0,7 м.

Характерною особливістю графіка вертикальної освітленості є те, що при висотах світильника 1 м і вище, при збільшенні відстані освітленість міняється дуже повільно. Це дає можливість міняти світлотіньову картину в широких межах без суттєвої зміни освітленості.

Комбінуючи графіки на рис.2.8 і рис.2.9 можна правильно обрати експонару (витримку і ISO) під певне положення світильника.

2.3 Перевірка результатів розрахунків

Для перевірки результатів розрахунку освітленості використаємо додаток люксметр на смартфоні, повірений по апаратному люксметру (рис.2.10).



Рисунок 2.10 – Люксметр МТ30 (а) і смартфон Xiaomi Redmi Note 10 Pro (б) в режимі вимірювання освітленості

Коефіцієнт корекції показів люксметра телефону склав

$$k_{lx} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{595}{247} = 2,4. \quad (2.26)$$

Перевірка проводилася в одній з середніх точок графіків, а саме – при $d = 1$ м, $H = 1$ м. Розрахункове значення для цих параметрів $E_g = 2700$ лк, $E_z = 2700$ лк.

Результати вимірювань після повірки люксметра на смартфоні: $E_z = 2714$ лк, $E_g = 2056$ лк (рис.2.11).

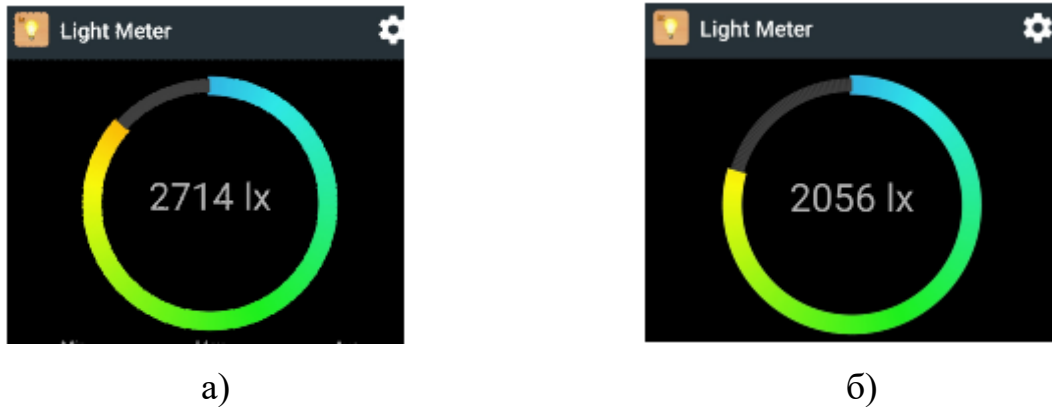


Рисунок 2.11 – Результати вимірювань після повірки люксметра на смартфоні (а – горизонтальна освітленість, б – вертикальна освітленість)

Якщо горизонтальна освітленість не відрізняється в розрахункових і вимірних значеннях, то виміряна освітленість у вертикальній площині менше за розраховану на 24%. Таку відмінність можна пояснити тим, що неможливо було витримати точне вертикальне положення смартфона в режимі люксметра. В цілому, результати вимірювань підтверджують розрахунки.

Проведемо експеримент з визначення сигнал-шум у зображенні. Для цього зробимо ряд фотографій однорідного білого фону без текстури (гладкий білий папір) при різних освітленостях (рис.2.12). Освітленість будемо регулювати кількістю включених ламп та відстанню від предмету до світильника.

На рис.2.13 показано ряд фотозображень, отриманих в результаті експерименту. Можна помітити наявність градієнтів яскравості внаслідок нерівномірного освітлення кадру.



Рисунок 2.12 – Експеримент з визначення відношення сигнал-шум у зображенні

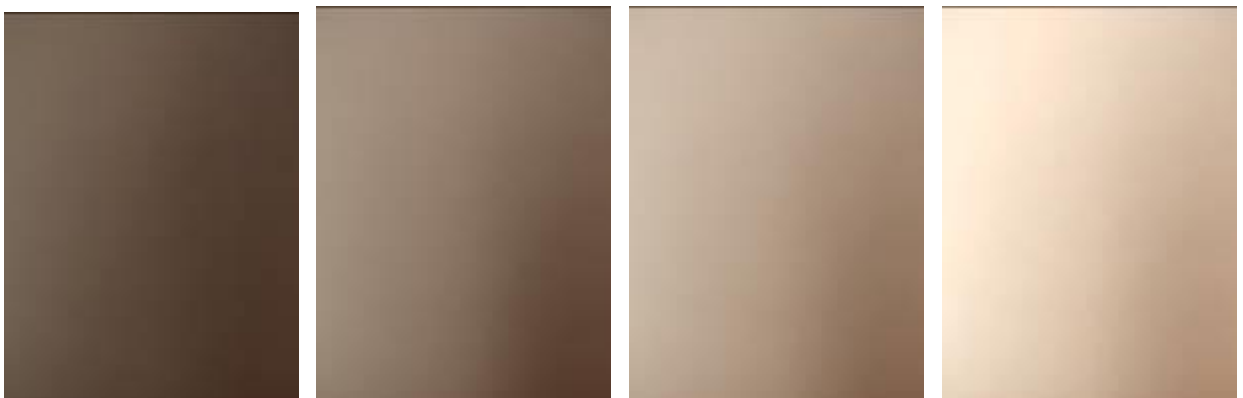


Рисунок 2.13 – Наявність градієнтів яскравості внаслідок нерівномірного освітлення кадру

Для усунення впливу цих градієнтів на визначення відношення сигнал-шум проведемо просторову фільтрацію фільтром зрізу нижніх частот. Для зменшення ефекту Гіббса при різкому обмеженні спектра оберемо функцію обрізання вигляду $1 - \cos^2$ [28, 29]:

$$K(k_x, k_y) = 1 - \cos^2\left(\frac{k_x}{k_{x\max}} \frac{\pi}{2}\right) \cos^2\left(\frac{k_y}{k_{y\max}} \frac{\pi}{2}\right), \quad (2.27)$$

де k_x, k_y – просторові частоти по осях x, y ;

$k_{x \max}$, $k_{y \max}$ – ширина смуги обмеження НЧ.

Фільтрація не повинна стосуватися постійної складової, тобто

$$K(0,0) = 1. \quad (2.28)$$

На рис. 2.14 показано тривимірний графік вагової функції $K(k_x, k_y)$ при $k_{x \max} = 24$, $k_{y \max} = 18$. Такі значення вибрані виходячи з роздільної здатності кадрів 4000x3000.

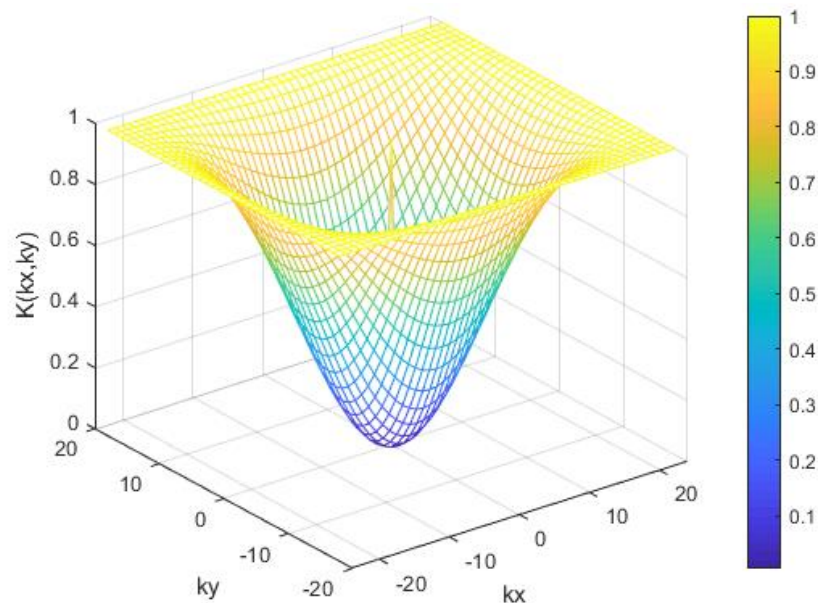


Рисунок 2.14 – Тривимірний графік вагової функції просторового спектру $K(k_x, k_y)$ при $k_{x \max} = 24$, $k_{y \max} = 18$

На рис.2.15 показано результат фільтрації з метою видалення градієнтів, за їх відсутності є можливість збільшити контраст і виділити шумову складову.

На рис.2.16 показано залежність відношення сигнал-шум від освітленості по результатам експерименту (синя верхня крива) та по результатам теоретичних розрахунків (червона нижня крива). На графіках можна спостерігати помітно більше відношення сигнал шум в реальному

експерименті в порівнянні з розрахунками, причому цей вигравш більше на невеликих освітленостях до 1000 лк.

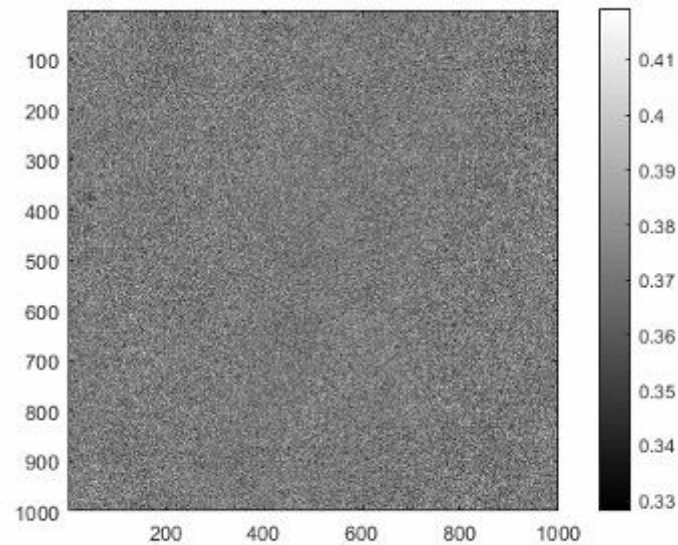


Рисунок 2.15 – Результат фільтрації з метою видалення градієнтів

Таку відмінність теоретичних і експериментальних результатів можна пояснити наявністю на борту смартфона протишумової обробки зображення, яка, очевидно, включається автоматично в повному обсязі на зображеннях, де відсутні дрібні деталі.

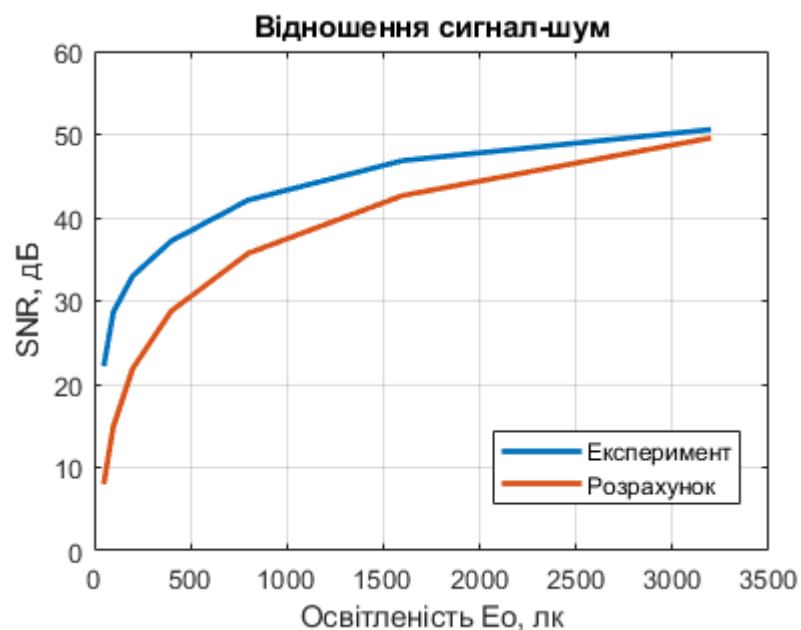


Рисунок 2.16 – Залежність відношення сигнал-шум від освітленості (експеримент – синя верхня крива, розрахунок – червона нижня крива)

В нашому експерименті саме такі зображення і було використано.

В Додатку А наведено текст програми в MATLAB для описаного вище експерименту.

2.4 Висновки по розділу 2

В даному розділі отримано зручні інженерні формули для розрахунку чутливості фото- і відеокамер, а також відношення сигнал-шум. В результаті теоретичних розрахунків отримані графіки залежності відношення сигнал-шум SNR від освітленості E_o і витримки T_e в режимах 108 Мпікс і 12 Мпікс для смартфона Redmi Note 10 Pro. Крім того, було отримано графіки залежності освітленості в горизонтальній і вертикальній площинах від положення світильника. Результати розрахунків і експериментів підтверджують можливість предметної зйомки на мобільний телефон.

Отримані графіки можна використовувати фотографам, які займаються предметною зйомкою в студії або за її межами, для правильного вибору експопари, тобто комбінації освітленості і часу витримки. Отримані формули для розрахунку чутливості і відношення сигнал-шум можна використовувати при плануванні фото- і відеозйомки на камери смартфонів, при проектуванні систем відеоспостереження та інших прикладних телевізійних систем.

3 ПРАКТИКА СТВОРЕННЯ ПРЕДМЕТНОГО ФОТО І ВІДЕО НА КАМЕРУ СМАРТФОНА

3.1 Технічне забезпечення для предметної зйомки на смартфон

В розділі 2 було встановлено, що обов'язковою умовою для створення предметного фото і відео на камеру смартфона є наявність джерела світла, яке може забезпечити освітленість на об'єкті не менше 1000 лк. Власна практика авторки показала, що в якості такого джерела краще використовувати софтбокс якомога більшої площі. В нашому випадку застосовано софтбокс з розкритом 90 см х 60 см. Ціна його на момент покупки у вересні 2022 року складала 1550 грн. Ще близько 450 грн. коштували 5 світлодіодних ламп OSRAM Aigo 13 Вт 1521 лм. Тобто загальна вартість джерела світла (рис.3.1) склала близько 2000 грн.



Рисунок 3.1 – Софт-бокс 60x90 см із штативом і 5 LED ламп

Великою перевагою софт-боксу є можливість регулювати ступінь розсіяності світла шляхом знімання або надягання розсіювача та відбивача. При знятих розсіювачі та відбивачі світло буде точковим і дасть максимально різкі тіні.

Альтернативним і досить поширеним варіантом є освітлення сцени за допомогою кільцевої LED лампи. Якщо розглядати варіанти з електричною

потужністю і світловим потоком порівняними з софтбоксом (65 Вт і 7600 лм відповідно), можна розглянути кільцеву лампу RL-21. Зовнішній вигляд лампи RL-21 показано на рис.3.2, а характеристики наведені в табл.3.1.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд лампи RL-21

Таблиця 3.1 – Характеристики лампи RL-21

Параметр	Значення
Електрична потужність, Вт	65
Світловий потік, лм	7800
Колірна температура, К	2700...6500
Індекс передачі кольору, Ra	н/д
Зовнішній діаметр, см	54
Внутрішній діаметр, см	38
Максимальна висота штативу, м	2,1

Як видно з табл.3.1, електричні, світлові показники та геометричні розміри лампи RL-21 в цілому аналогічні параметрам використаного софтбоксу. Натомість вартість лампи RL-21 у вересні 2022 р. складала 2600 грн., тобто на 600 грн. більше.

З додаткових технічних можливостей кільцевих ламп можна вказати можливість регулювання колірної температури, в чому немає необхідності при предметній зйомці. Головне для правильної передачі кольору щоби налаштування в камері відповідали колірній температурі джерела світла. Окремо можна сказати, що в даній моделі кільцевої лампи не нормується індекс передачі кольору, тобто можна очікувати не зовсім вірного відтворення кольорів предмету.

Аналіз великої кількості предметних фото і відео в Інстаграмі і Тік-Ток показав, що окремими недоліками кільцевих ламп є:

- не завжди правильна світлотіньова картина (рис.3.3);
- наявність характерних і легко впізнаваних бліків на відблискуючих предметах (рис.3.4).

Перший недолік є результатом того, що кільцева лампа формує гарно розсіяне світло на відстані більше її діаметра. У випадку предметної зйомки відстань до джерела світла може бути менше, тому можливе формування декількох тіней. Крім цього величину розсіяності світла в кільцевій лампі при фіксованій відстані регулювати не вдасться, як це можна зробити з софт-боксом.

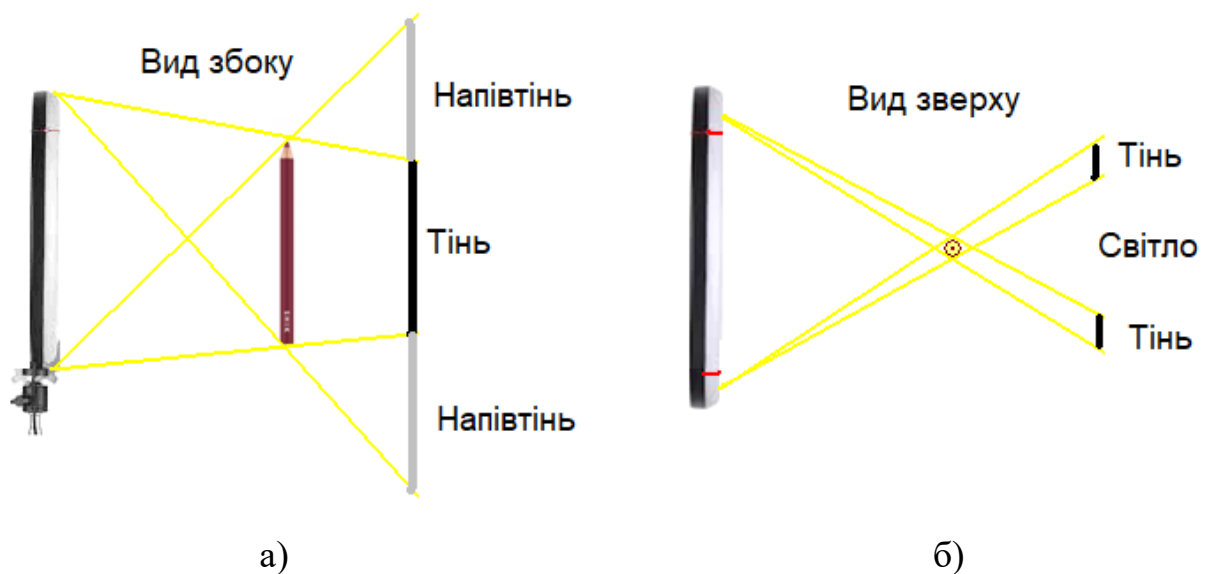


Рисунок 3.3 – Геометрія при формуванні світлотіньового малюнка при зйомці косметичного олівця з кільцевою лампою (а – вид збоку, б – вид зверху)

Другий недолік не потребує окремих пояснень, його проявлення показано на рис.3.4. Відблиск від прямокутного софт-бокса буде менш впізнаваний, його можна прийняти за світло з вікна, що не звертає на себе додаткової непотрібної уваги глядача.



Рисунок 3.4 – Характерні легко впізнавані біліки від кільцевої лампи
(фото з Тік-Ток)

Отже, можна зробити висновок, що застосування софт-боксу в предметній зйомці є більш доцільним.

Крім світла також доцільно мати декілька фонів – білий, чорний, червоний, та ще декілька однорідних фонів різних кольорів. Ці фони можуть бути як паперовими так і тканинними [30]. Для утримання фону в потрібному положенні доцільно придбати тримач фону (рис. 3.5).



а)



б)

Рисунок 3.5 – Стійка для фону Micropro T Bar Support T-150

(а – прищепки, б – загальний вигляд)

Стійка має достатньо великий діапазон регулювання висоти (табл.3.2) і міцну конструкцію.

Таблиця 3.2 – Характеристики стійки Miracpro T Bar Support T-150

Параметр	Значення
Максимальна висота	2 м
Довжина (в складеному стані)	84 см
Мінімальна висота	80 см
Ширина	150 см
Діаметр труби	2,2 см

Для зйомки з тривалими витримками, щоби не допустити тремтіння камери в цей час, доцільно придбати штатив з можливістю кріплення смартфона і керуванням спуском затвору по блютуз (рис.3.6) [31, 32].



Рисунок 3.6 – Професійний штатив для смартфона і відеотехніки
Yunteng VCT 5208L

Штатив Yunteng VCT 5208L має достатньо великий діапазон регулювання висоти (табл.3.3), головку з можливістю регулювання положення в 2-х площинах, міцну конструкцію (максимальне навантаження 1,5 кг при вазі смартфона 200 г), універсальне кріплення з можливістю кріпити як смартфон так і фотокамеру, малі розміри в складеному стані.

Таблиця 3.3 – Характеристики штативу Yunteng VCT 5208L

Параметр	Значення
Максимальна висота	1,39 м
Довжина (в складеному стані)	48 см
Мінімальна висота	54 см
Тип головки	2D
Тримач для телефону (ширина кріплення)	5 см – 10 см
Максимальне навантаження	1.5 кг
Пульт дистанційного керування	Сумісний з IOS і Android

Все перелічене обладнання в складеному стані займає небагато місця, тому може бути легко і швидко розгорнуте навіть в малогабаритному приміщенні.

3.2 Приклади предметної фото- і відеозйомки

В даній роботі виходячи з власної практики пропонується класифікація сцени по різним властивостям фону і предмету відбивати світло:

- темний, світлий, середній;
- глянцевий, матовий.

Дуже багато цікавих предметних фото можна отримати на чорному фоні. При цьому який би ми фон не взяли – паперовий або тканинний – на фото він не буде суто чорним, можливі відблиски, градієнти, нерівномірність структури фону. Тому доцільно зменшувати експозицію приблизно на 1...2 ступені вниз (-1...-2 EV). Приклад такого фото з корекцією і без показано на рис.3.7. Там же наведені відповідні гистограми яскравості.

При зйомці таких фото постановку світла і ракурс зйомки треба планувати так, щоби зменшити відбиття від чорного фону, а також робити фон якомога гладкішим. В цьому випадку не знадобиться проводити значних коригувань експозиції вниз, і можна буде залишити більше градацій на об'єкті зйомки, не переводячи їх в область недосвіту [33]. Приклад правильного вибору ракурсу і світла з мінімальною корекцією вниз показано на рис. 3.8

На рис.3.8 – рис.3.10 показано ряд фото, зроблених на чорному фоні.

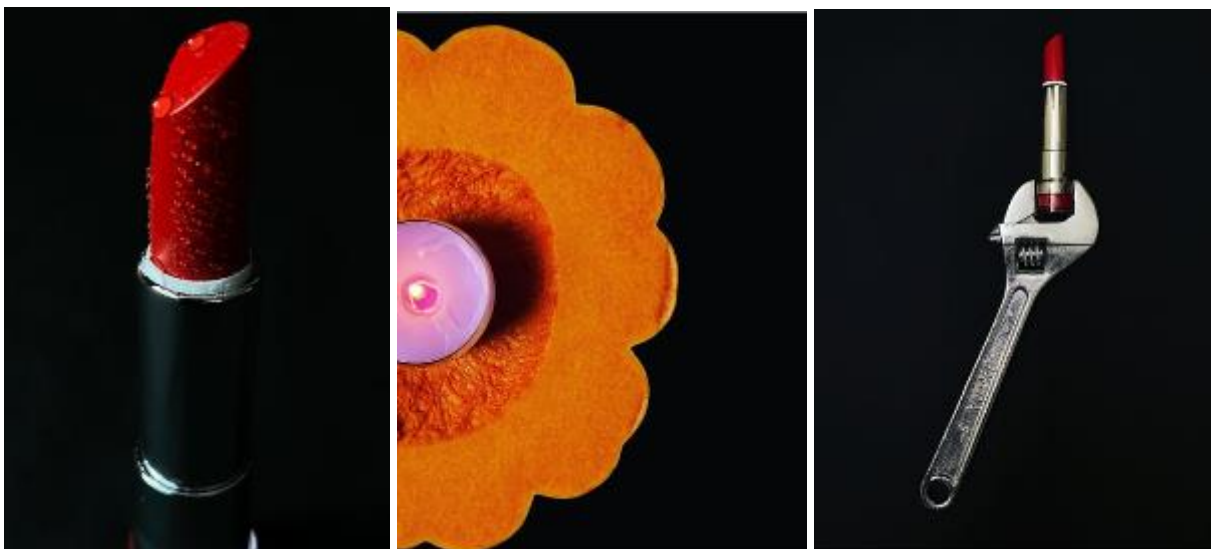


Рисунок 3.8 – Приклади власноруч зроблених фото на чорному фоні

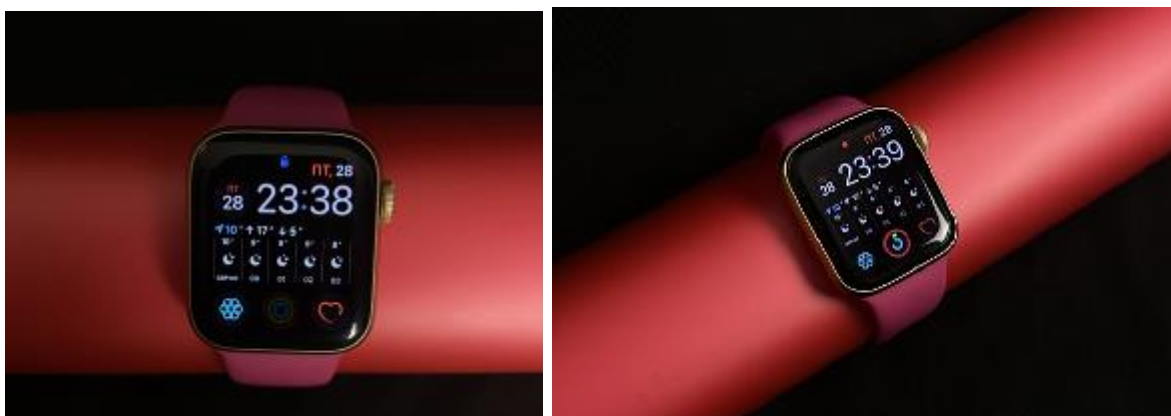


Рисунок 3.9 – Приклади власноруч зроблених фото на чорному фоні



Рисунок 3.10 – Приклади власноруч зроблених фото на чорному фоні

Ще одним з найважчих випадків для зйомки є відблискуючі предмети. Вони відбивають вбік камери світло освітлювального приладу. Невдалі приклади зйомки таких предметів показані на рис 3.11.



Рисунок 3.11 – Невдалі приклади зйомки відблискуючих предметів

Практика показала, що найважливішим предметом для зйомки є глянцеві темні предмети складної форми. Причина цього полягає в наступному. По-перше, важко знайти взаємне розташування освітлювача і камери, при яких би не виконувалася вимога дзеркального відбиття хоч для якоїсь ділянки предмета. По-друге, відбиття на темному предметі набагато помітніше, ніж на білому. Останнє пояснюється законом Вебера-Фехнера [34], згідно якому, мінімально помітне прирощення яскравості дорівнює $\epsilon \approx 2\%$. Зрозуміло, що 2% на темному фоні будуть набагато менше, ніж 2% на світлому фоні.

В цьому випадку дуже гарно показала себе схема постановки світла, коли софт-бокс спрямовується вгору на білу стелю, тим самим моделюється варіант розсіяного світла в похмуру погоду, який майже не дає відблисків. На рис.3.12 показано таке розташування джерела світла.

На рис.3.13 показано ряд вдалих прикладів фото відблискуючих предметів.



Рисунок 3.12 – Схема постановки світла, коли софт-бокс спрямовується вгору на білу стелю



Рисунок 3.13 – Вдалі приклади зйомки відблискуючих предметів

Для придання знімкам відчуття об'єму використовувалося ще одне джерело – «точкове», у вигляді настільної лампи (рис.3.14). В світильнику використано LED лампу 12 Вт, 1200 лм, 4100 К, Ra>90.



Рисунок 3.14 – «Точкове» джерело світла у вигляді настільної лампи

Отже, практика підтвердила теоретичні оцінки і показала можливість отримати професійні предметні фото на камеру сучасного смартфона.

3.3 Висновки по розділу 3

В результаті виконання практичної частини було обґрунтовано технічне забезпечення для предметної зйомки на смартфон. В якості освітлювального прибору обрано софт-бокс на 5 ламп розміром 90 x 60 см з лампами OSRAM Aro 13 Вт 1521 лм. Тобто загальний світловий потік джерела світла склав близько 7600 лм при високій дифузності (тобто розсіяності світлового потоку). Для підвищення дифузності при зйомці відблискуючих предметів знайдено прийом, коли софтбокс спрямовується на білу стелю.

В якості альтернативи розглянута кільцева LED лампа для блогерів. За умови однакового світлового потоку, цей варіант дорожче, ніж софт-бокс, дає не завжди правильну світлотіньову картину і має характерні виражені відблиски на глянцевиx предметах.

Наведена класифікація і практичні приклади зйомки сцен з різними властивостям фону і предмету: темний, світлий, середній; глянцевиx, матовий. практика підтвердила теоретичні оцінки і показала можливість отримати професійні предметні фото на камеру сучасного смартфона.

ВИСНОВКИ

Предметна зйомка – це жанр, що використовується в рекламі для демонстрації зовнішніх характеристик продукту, його дизайну, конструкції і значущих елементів. Знімаються максимально виражені ракурси, які переконливо «говорять» про важливі функціональні властивості товару та його відмінності від конкурентної продукції.

Предметна зйомка потрібна для буклетів, сайтів Інтернет-магазинів, для періодичних видань, каталогів, художніх альбомів, і т.д. Саме на підставі фотографії споживач робить для себе висновки, що впливають на рішення про купівлю.

Існує думка, що якісна предметна фото- і відеозйомка можлива лише з використанням професійної камери. В той же час залишаються майже не використаними можливості камер сучасних смартфонів, виробники яких рік від року покращують і вдосконалюють їхні характеристики.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є оцінка достатніх технічних умов для отримання предметних фото- і відеозображень на камеру смартфона, якісні показники яких будуть відповідати зображенням професійних фото- і відеокамер.

Проведено аналіз принципів побудови та технічних характеристик камер смартфонів. Показано, що головним фактором є фізичний розмір перетворювача світло-сигнал. Це дає можливість досягти високої чутливості камери, малого рівня шумів, широкого динамічного діапазону знімків. Також в парі з великою матрицею можна використати об'єктив з великою апертурою, що збільшує світлосилу і зменшує рівень оптичних аберацій.

Щоби вирішити ці питання, розробники задали тенденцію використання у смартфоні декількох камер з різними характеристиками з наступним комбінуванням зображень цих камер в єдине вихідне зображення. Такий підхід дозволяє адаптувати камеру для зйомки в різних умовах. Тому можна очікувати, що фото- і відео зйомка на камеру сучасного смартфона

може дати майже професійні результати. Наша задача – точно визначити умови, за яких такий результат буде можливим.

Дослідження проведені на камері популярного смартфона Redmi Note 10 Pro. На підставі технічної документації виробника в'яснено призначення і технічні характеристики кожної з 4 камер, а саме – світлосила, фокусна відстань і кут огляду об'єктивів, діагональний розмір і розрізнення матричних перетворювачів. Особливістю камер сучасних смартфонів є розрізнення до 200 Мпікс. В звичайному режимі смартфон використовує технологію бінгінгу 9-в-1, коли пікселі об'єднуються в більші групи по 9 пікселів, що дозволяє пропорційно збільшити еквівалентну площу пікселя і світлочутливість. Тобто розрізнення фото буде 12 Мп і більше. Режим підвищеної чіткості вмикається тільки вручну, і треба визначити умови, при яких він може бути реалізованим.

Для оцінки чутливості камери смартфона і відношення сигнал-шум на основі відомих співвідношень вперше були отримані інженерні формули. Знаючи геометричні характеристики матриці і оптичні характеристики об'єктиву кожен зможе оцінити можливості своєї камери для зйомки в тих чи інших умовах. Отримані інженерні формули можна використовувати при плануванні фото- і відеозйомки на камери смартфонів, при проектуванні систем відеоспостереження та інших прикладних телевізійних систем.

Отримані графіки залежності відношення сигнал-шум SNR в зображенні від освітленості на об'єкті E_o для двох роздільних здатностей матриці: 108 Мпікс та 12 Мпікс при витримці 1/30 с. Таке значення витримки відповідає режиму зйомки відео.

Режим 108 Мпікс може реалізувати свої можливості лише при денному сонячному світлі. При студійній освітленості 1000 лк відношення сигнал-шум для цього режиму лише 36 дБ. Це задовільний результат, але недостатній для отримання професійного фото. Відношення сигнал-шум 45 дБ досяжні лише при освітленості 10000 лк, а 50 дБ – при освітленості 30000 лк. Тобто, можна стверджувати, що режим 108 Мпікс здебільшого є

рекламним ходом, і повністю реалізувати можливості цього режиму можна тільки при зйомці надворі вдень.

Отримані графіки залежності відношення сигнал-шум SNR в зображенні від витримки для роздільних здатностей 108 Мпікс і 12 Мпікс при освітленні 1000 лк. При студійному освітленні 1000 лк якісні знімки з роздільною здатністю 108 Мпікс можна отримати при великому значенні витримки 1 с, лише тоді відношення сигнал-шум 50 дБ. Це накладає підвищені вимоги до нерухомості об'єкта і камери під час зйомки.

Інколи потрібно знімати швидкоплинні процеси, як бризки, краплі, воду, що ллється, цукор або зерна кави, що сиплються. В такому випадку потрібно ставити малі значення витримки, щоби «заморозити» зображення витримкою менше 0,001 с. З досліджень випливає, що навіть в режимі 12 Мпікс слід очікувати дуже помітних шумів ($SNR < 30$ дБ). Це потребує освітленості порядку 10 тис. лк.

Розраховано систему освітлення для предметної зйомки. Отримано залежності освітленості на предметі в горизонтальній і вертикальній площинах в залежності від положення світильника при заданій силі світла.

Характерною особливістю вертикальної освітленості є те, що при висотах світильника 1 м і вище, при збільшенні відстані освітленість міняється дуже повільно. Це дає можливість міняти світлотіньову картину в широких межах без суттєвої зміни освітленості. Комбінуючи отримані графіки можна правильно обрати експопару (витримку і ISO) під певне положення світильника.

Для перевірки результатів розрахунку освітленості використано додаток люксметр на смартфоні, повірений по апаратному люксметру. Коефіцієнт корекції показів люксметра смартфона склав 2,4. Результати вимірювань показали задовільне співпадіння з розрахунками. Горизонтальна освітленість майже не відрізняється від розрахункової, виміряна освітленість у вертикальній площині менше за розраховану на 24%. Це можна пояснити

тим, що неможливо було витримати точне вертикальне положення смартфона в режимі люксметру.

Проведено експеримент з визначення сигнал-шум у зображенні. Для цього зроблено ряд фотографій однорідного білого фону при різних освітленостях. Для усунення впливу повільних градієнтів освітленості на визначення відношення сигнал-шум проведено просторову фільтрацію фільтром зрізу нижніх частот. Для зменшення ефекту Гіббса обрано плавну функцію обрізання вигляду $1 - \cos^2$. В результаті обробки зображень в MATLAB отримано експериментальну залежність відношення сигнал-шум від освітленості. Можна відмітити помітно більше відношення сигнал шум в експерименті (на 8-9 дБ) в порівнянні з розрахунками, причому цей вигравш більше на невеликих освітленостях, до 1000 лк. Таку відмінність теоретичних і експериментальних результатів можна пояснити наявністю у смартфоні протишумової обробки зображення, яка, очевидно, працює в повному обсязі на зображеннях, де відсутні дрібні деталі.

Обґрунтовано вибір технічного забезпечення для предметної зйомки на смартфон. В якості освітлювального прибору обрано софт-бокс на 5 ламп розміром 90 x 60 см з лампами OSRAM Aro 13 Вт 1521 лм. Тобто загальний світловий потік джерела світла склав близько 7600 лм при високій дифузності (тобто розсіяності світлового потоку). В якості альтернативи розглянута кільцева LED лампа для блогерів. За умови однакового світлового потоку, цей варіант дорожче, ніж софт-бокс, дає не завжди правильну світлотіньову картину для тонких предметів і має характерні виражені відблиски на глянцевиx предметах.

Наведена класифікація і практичні приклади зйомки сцен з різними властивостям фону і предмету: темний, світлий, середній; глянцевиx, матовий.

Дуже багато цікавих предметних фото можна отримати на чорному фоні. При цьому можливі відблиски, градієнти, нерівномірність структури фону. Тому доцільно зменшувати експозицію приблизно на 1...2 ступені

вниз (-1...-2 EV). При зйомці таких фото постановку світла і ракурс зйомки треба планувати так, щоби зменшити відбиття від чорного фону, а також робити фон якомога гладкішим. В цьому випадку не знадобиться проводити значних коригувань експозиції вниз, і можна буде залишити більше градацій на об'єкті зйомки, не переводячи їх в область недосвіту.

Ще одним з найважчих випадків для зйомки є відблискуючі предмети. Вони відбивають вбік камери світло освітлювального приладу. Практика показала, що найважливішим предметом для зйомки є глянцеві темні предмети складної форми. В цьому випадку дуже гарно показала себе схема постановки світла, коли софт-бокс спрямовується вгору на білу стелю, тим самим моделюється варіант розсіяного світла в похмуру погоду, який майже не дає відблисків. Для придання знімкам відчуття об'єму використовувалося ще одне джерело – «точкове», у вигляді настільної лампи.

Отже, практика підтвердила теоретичні оцінки і показала можливість отримати професійні предметні фото на камеру сучасного смартфона.

В результаті виконання кваліфікаційної роботи були отримані результати, які можуть бути використані технічними і творчими робітниками в галузі фото- та відеозйомки, і дозволять більш ефективно використовувати наявну знімальну техніку для отримання медіаконтенту більш високої якості.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Телевидение: Учебник для вузов / В. Е. Джакония и др.; Под. ред. В. Е. Джаконии. Изд. 4-е. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 615 с.
2. Д. С. Волосов. Фотографическая оптика. – 2-е изд. – М.: Искусство, 1978. – 543 с.
3. Е. А. Иофис. Фотокинетика / И. Ю. Шебалин. – М.: Советская энциклопедия, 1981. – 447 с.
4. Н. Д. Панфилов, А. А. Фомин. Краткий справочник фотолюбителя / Н. Н. Жердецкая. – М.: Искусство, 1985. – 367 с.
5. Ю. Р. Носов, В. А. Шилин. Основы физики приборов с зарядовой связью. – М.: Наука, 1986. – 318 с.
6. Приборы с зарядовой связью / Под ред. М. Хоувза, Д. Моргана. – М.: Энергоиздат, 1981. – 372 с.
7. Уваров Н. Секреты высокой чувствительности ТВ камер / Алгоритм безопасности, №6, 2002. – с. 44-57.
8. Неизвестный С. И., Никулин О. Е. Приборы с зарядовой связью – основа современной телевизионной техники. Основные характеристики ПЗС / Специальная техника, №5, 1999.
9. Дамьяновски В. SSTV, Библия видеонаблюдения, цифровые и сетевые технологии. – М.: ООО "Ай-Эс-Эс Пресс", 2006.
10. Пескин А.Е., Труфанов В.Ф. Мировое вещательное телевидение. Стандарты и системы: Справочник. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2004. – 308 с.
11. Смирнов А.В., Пескин А.Е. Цифровое телевидение. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 348с.
12. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Знак, 2006. – 972 с.
13. Келбі С. Цифрова фотографія: фоторецепти. – К.: Фабула, 2020. – 224 с.

14. Zubkov O.V., Sheiko S.O., Oleynikov V.M., Kartashov V.M., Babkin S.I. Investigation of Efficiency of Detection and Recognition of Drone Images from Video Stream of Stationary Video Camera / Telecommunications and Radio Engineering, 2021, 80(3), pp. 23–37.

15. Koryttsev, S. Sheiko, V. Kartashov, O. Zubkov, V. Oleynikov, I. Selieznov, M. Anohin. Practical Aspects of Range Determination and Tracking of Small Drones by Their Video Observation // 2020 International Scientific-Practical Conference. Problems of Infocommunications. Science and Technology. Kharkiv, Ukraine. October 6-9, 2020. – 5 p.

16. V. Kartashov, V. Oleynikov, O. Zubkov, S. Sheiko. Optical detection of unmanned air vehicles on a video stream in a real-time // The Fourth International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2019), 9–13 September 2019, Odessa, Ukraine, 4 p.

17. В.М. Карташов, И.В. Корытцев, С.А. Шейко, В.Н. Олейников, О.В. Зубков, С.И. Бабкин. Оптико-электронные методы обнаружения воздушных объектов и измерения их координат // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2020. – Вып. 202. – С. 153 – 159.

18. О.В. Зубков, С.А. Шейко, В.Н. Олейников, В.М. Карташов, И.В. Корытцев, С.И. Бабкин. Исследование эффективности детектирования и распознавания изображений дронов по видеопотоку // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2020. – Вып. 202. – С. 136 – 146.

19. И.В. Корытцев, С.А. Шейко, В.М. Карташов, О.В. Зубков, В.Н. Олейников, С.И. Бабкин, И.С. Селезнев. Обработка сигналов при пеленгации и определении дальности до малоразмерных БПЛА в оптическом и инфракрасном диапазонах // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2020. – Вып. 202. – С. 125 – 134.

20. Zubkov O., Sheiko S., Oleynikov V., Kartashov V. Investigation of the neural networks effectiveness in recognizing moving drones. International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, 2021, 2, pp. 119–122.

21. Sytnik O., Kartashov V. Technical vision model of the visual systems for industry application // Examining Optoelectronics in Machine Vision and Applications in Industry 4.0, 2021, pp. 288–310.

22. Довгаль К.С. Особливості роботи та використання програм тривимірного простору // 24-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 3. – Харків: ХНУРЕ. 2021. – с. 67 – 68.

23. Тимченко Г.О. Оцінка дальностей виявлення, розпізнавання та ідентифікації БПЛА в оптико-електронному каналі // 25-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 3. – Харків: ХНУРЕ. 2021. – с. 45 – 46.

24. Ключенков Р.О. Дослідження адаптивних методів подавлення шуму в відеозображеннях // 24-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 3. – Харків: ХНУРЕ. 2020. – с. 111 – 112.

25. Кац Д.В. Ефективність методів віднімання фону в задачах виявлення малих БПЛА // 24-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 3. – Харків: ХНУРЕ. 2020. – с. 101 – 102.

26. Обзор смартфона Redmi Note 10 Pro с камерой 108 Мп и AMOLED-экраном 120 Гц // iXBT.com – сайт о технике и технологиях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ixbt.com/mobile/redmi-note-10-pro-review.html> (дата звернення: 21.11.2022).

27. LED лампы OSRAM // Каталог ламп. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://ledlampa.dp.ua/catalog/catalog_lampa_g4.html (дата звернення: 21.11.2022).

28. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. – М.: Высшая школа, 2000. – 462 с.

29. Снеддон, И. Преобразование Фурье / И. Снеддон. – М.: Издательство иностранной литературы, 1955. – 668 с.

30. Келби С. Цифровая фотография. Том 1. – М.: Вильямс, 2011. – 224 с.
31. Келби С. Цифровая фотография. Том 2. – М.: Вильямс, 2011. – 240 с.
32. Келби С. Цифровая фотография. Том 3. – М.: Вильямс, 2011. – 256 с.
33. Келби С. Цифровая фотография. Том 4. – М.: Вильямс, 2015. – 224 с.
34. Келби С. Цифровая фотография: готовые рецепты. – М.: Вильямс, 2015. – 232 с.
35. Дьяконов, В. MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Основы применения. Самое подробное описание последних версий MATLAB, новые возможности Simulink / В. Дьяконов. – М.: Солон-Пресс, 2008. – 799 с.
36. Методичні вказівки з виконання атестаційної магістерської роботи за спеціальністю 8.05090102 «Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення». Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр / Упоряд. В.М. Карташов, В.А. Тихонов, І.В. Савченко – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 68 с.