

Ю. М. Толкунова

Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВІЗУАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПОДОЛАННЯ ПЕРЕШКОД ДЛЯ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

**Анотація.** Більшість відповідальних завдань виконуються безпілотними літальними апаратами (БПЛА) під контролем оператора. Однак взаємодія робота та оператора в сучасних умовах вже не є управлінням в традиційному вигляді. Сучасні БПЛА оснащені системами технічного зору, базами даних та знань, на основі яких літальний апарат може самостійно приймати рішення. База знань робота дозволяє йому самостійно орієнтуватися в навколишньому середовищі та приймати рішення щодо виконання поставленого завдання. Функції людини-оператора тепер складаються з постановки завдань роботу проблемно-орієнтованою мовою, близькою до природньої, та спостереження за діями робота. Візуальне планування являє собою розширення методів планування та обходу перешкод для завдань, у яких джерелом інформації про довкілля є системи технічного зору на базі відеокамери чи скануючих систем. В статті зроблено огляд методів візуального планування. Велика кількість існуючих методів і алгоритмів обробки зображень та можливі їх комбінації дозволяють розв'язувати найрізноманітніші задачі, постійно вдосконалювати існуючі алгоритми та за рахунок цього підвищувати ефективність обробки зображень. Але який би метод не було застосовано для візуального планування існують проблеми отримання якісної вхідної інформації пов'язані з метеорологічними умовами, обумовленими опадами і туманом, та відблисками, якщо зображення отримується за допомогою відеокамери. Це можуть бути сонячні відблиски або відблиски, що надходять від інших джерел освітлення. В статті запропоновано методика виявлення та виключення відблисків з зображення. Оскільки основна інформація про навколишнє середовище, яку аналізує робот, залежить від якості зображення, необхідні відповідні методи, які враховують атмосферні опади. В статті проведено аналіз методів виключення різноманітних видів опадів з зображення та зроблено висновки про стан їх розробки.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, подолання перешкод, візуальне планування, виявлення відблисків, атмосферні опади, обробка зображень.

### Вступ

Розробка сучасних БПЛА підвищує вимоги до систем автоматичного управління літальними апаратами та навігаційного забезпечення польоту. Застосування БПЛА для військових цілей та виконання операцій в надзвичайних ситуаціях зазвичай охоплює значні території та потребує вдосконалення системи контролю та керування БПЛА, потребує досконалих алгоритмів подолання перешкод при автоматичному управлінні БПЛА. Для отримання інформації про навколишнє середовище БПЛА використовує датчики, в тому числі відеокамери. Системи подолання перешкод, які працюють на основі даних, отриманих з відеокамер, повинні працювати в різних погодних умовах та умовах освітлення. Орієнтація та подолання перешкод повинні виконуватися в метеорологічних умовах, обумовлених опадами і туманом, та в різних умовах освітлення. Тому метою даної роботи є аналіз існуючих методів візуального планування, виключення відблисків та різноманітних видів опадів з зображення та розробка методики виключення відблисків з зображення для досконалої роботи системи подолання перешкод БПЛА.

### 1 Візуальне планування

Візуальне планування являє собою розширення методів планування та обходу перешкод для завдань, у яких джерелом інформації про довкілля є системи технічного зору на базі відеокамери чи скануючих систем. Більшість робіт із цієї галузі присвячено вивченню таких питань, як оптимальний вибір міток для локалізації робота [1], визначення міс-

цезнаходження за наявними візуальними орієнтирами [2], відстеження візуальних орієнтирів і уточнення положення [3]. Пропонуються роботи, в яких для відділення перешкод від фону використовується контрольна область безпосередньо перед роботом, яка порівнюється з частиною зображення, що залишається [4].

В роботі [5] запропоновано використовувати три незалежні модулі виявлення перешкод, які використовують критерій градієнта яскравості, RGB-кольору та HSV-кольору. Результат об'єднується для отримання границі положення перешкод та формування керуючих впливів на виконавчі механізми. Підхід, що описано потребує наявності кольорового зображення на вході системи, а також чіткого виявлення контурів перешкод.

У статті [6] представлені деякі експерименти навігаційної системи в реальному часі, що керується двома камерами, спрямованими збоку від напрямку навігації (Divergent Stereo). Запропонований підхід припускає, що для цілей навігації не використовується інформація про відстань, а використовується якісна інформація про оптичний потік, обчислена для областей поля зору двох камер.

Згідно з цією ідеєю, мобільний транспортний засіб було оснащено парою камер, які дивляться збоку, і реалізовано контролер на основі швидкого обчислення оптичного потоку в реальному часі. Управління мобільним роботом базується на порівнянні видимої швидкості зображення лівої та правої камер. Застосування такого рішення ґрунтується на дослідженнях, що описують поведінку вільно літаючих медоносних бджіл і механізми, які вони використовують для сприйняття дальності.

Наприкінці минулого сторіччя запропоновано алгоритм на основі обчислення просторових та часових похідних отриманих зображень та формування на їх основі команд керування [7]. Недоліком такого підходу є наявність сліпої плями у центрі зображення, викликаній нульовою похідною нерухомих перешкод, що перебувають у лінії руху об'єкта. Крім того, для коректної роботи алгоритмів на основі оптичних потоків у реальних умовах необхідно здійснювати механічну компенсацію вібрацій камер.

У роботі [8] вирішується завдання найкращого вибору такого стану робота, при якому можливо скласти найбільш адекватну картину зовнішнього середовища.

Методи, пов'язані з використанням цифрової обробки зображень для візуального визначення та позбавлення зображення від спотворень набули значного розвитку в останні роки. У статті [9] розглядається проблема моделювання роботи оптико-електронної системи БПЛА для завдання налагодження алгоритмів пошуку та ідентифікації навігаційних орієнтирів. Пропонується використовувати віртуальний полігон, що формується на основі даних, взятих із відкритих джерел (Google Earth, Shuttle radar topographic mission) для моделювання відеопотоку даних, що одержуються з камери БПЛА. При розробці використано бібліотеку OpenGL, що значно спростило вирішення задач візуалізації сцен, а також процес моделювання погодних умов та умов освітлення.

В статті [10] розглянуто методи цифрової обробки відеозображень апаратурою безпілотного літального апарата. Здійснено огляд, систематизацію та аналіз існуючих методів і алгоритмів цифрової обробки зображень, досліджено практичні та теоретичні проблеми їх використання.

Ряд робіт присвячено візуальному плануванню на основі нечіткої логіки. В роботі [11] розроблено нечіткий планувальник для побудови маршруту мобільного робота. Робота нечіткого планувальника є циклічною та включає послідовність наступних дій: виявлення перешкод відповідно секторами поділу навколишнього простору; вибір поведінки мобільного робота; здійснення керуючих параметрів руху мобільного робота (напрямок, швидкість) на основі обраної поведінки.

В статті [12] розроблено гібридну моделі візуального планування з використанням нейронної мережі та нечіткого регулятора. Автор статті за допомогою нейронної мережі отримав функції належності та базу правил для нечіткого регулятора, який в свою чергу і керував процесом руху. Перевагою цього підходу є те, що формується мінімальна кількість функцій належності та правил, тож швидкість виконання алгоритму нечіткої логіки на контролері збільшується.

В статті [13] виконано порівняння нечіткого алгоритму, нейро-нечіткого алгоритму, гібридного алгоритму нечіткої логіки і генетичного алгоритму та гібридного методу роя частинок і нечіткого алгоритму. Результати показали, що нечіткий алгоритм

краще за всіх інших з точки зору мінімізації енергії повороту. Гібридний алгоритм нечіткої логіки показав найкращі результати для часу наближення до цілі.

Гібридний метод роя частинок і нечіткого алгоритму та нейро-нечіткий алгоритм виявились приблизно однаковими за характеристиками. В результаті усіх експериментів автори зробили висновок, що нечіткий регулятор виявить себе найкращим чином в реальних умовах.

При роботі в реальних умовах треба враховувати наявність несприятливих погодних умов (дощ, сніг, туман) та умов освітлення, в тому числі, наявність сонячних відблисків.

Щодо навігації БПЛА при несприятливих погодних умовах на сьогоднішній день запропоновано алгоритми обробки зображень, які мають певні переваги та недоліки [14, 15, 25].

Але недостатньо розроблені методи боротьби з сонячними відблисками або відблисками, що надходять від іншого джерела освітлення. Зважаючи на це, в статті запропоновано методіку виключення відблисків з зображення.

## 2 Виявлення відблисків на зображеннях

В роботі системи подолання перешкод може виникнути ситуація коли на зображенні, що аналізує система будуть наявні відблиски або відображення світла, що надходить від джерела освітлення. Оскільки інформація про наявність перешкоди, яку аналізує програма, залежить від якості зображення, відблиски на зображенні, необхідно виключити з обробки.

Відеокамера, за допомогою якої формується зображення, зчитує зображення в колірній моделі RGB, яке потім оцифровується в форматі 24 біти на піксель і надходить у комп'ютер. Пікселі, що відповідають відблиску, мають значення інтенсивності, близьке до 250.

Практично на досліджуваних зображеннях відблиск можна виявляти за значенням однієї з компонентів RGB більше 200. На рисунку 1 зображено профіль рядка синьої компоненти зображення, що містить відблиск.

Частина графіка профілю рядка зображення, яка відповідає області відблиску, показана на рисунку 1 та має пік значення зображення, що становить 212 одиниць.

## 3 Методика виключення відблисків з зображення

Методика виключення відблисків з зображення виглядає так:

Крок 1. Визначити середнє значення інтенсивності на зображенні та задати його як порогове.

Крок 2. Визначити координати хоча б одного пікселя для відблиску на зображенні. Якщо відблисків декілька, то визначити координати хоча б одного пікселя для кожного відблиску на зображенні. Це можна зробити, порівнявши значення інтенсивності компонентів зображення з пороговим значенням. Усі знайдені точки занести до списку.

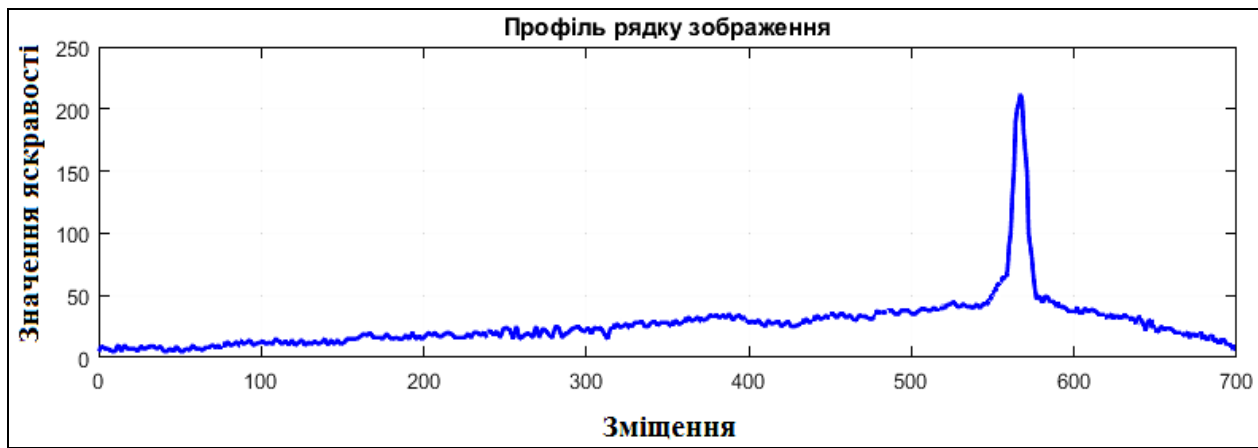


Рис. 1. Профіль рядку синьої компоненти зображення, яке містить відблиск

Крок 3. Для кожної точки, знайденої на попередньому кроці, визначити межі відблиску, до якого вона відноситься. Цього можна досягти, якщо з кожної точки рухатися в радіальних напрямках і стежити за тим, як змінюється модуль похідної яскравості зображення у напрямку руху. Точка, в якій модуль похідної почне зменшуватися, і є межею відблиску. На графіку, зображеному на рисунку 1 видно, що ця умова виконується для точок з координатами 547 та 576.

Крок 4. Пошук границь відблисків:

- формування початкового набору «активних» точок, що належать відблиску (див. опис кроку 1). Для кожної точки зберігається обчислена останній раз різниця в інтенсивності сусідніх точок послідовності (спочатку ця різниця має нульове значення);

- на основі початкового набору визначається набір «активних» точок наступного покоління. Ними обираються точки, сусідні для точок попереднього покоління, які задовольняють критерію:

$$(p_i - p_{i-1}) \geq (p_{i-1} - p_{i-2}),$$

де  $p_i$  – інтенсивність  $i$ -ї точки в послідовності;

- процес набору «активних» точок зупиняється, коли набір точок наступного покоління на відповідній операції буде пустим. Усі пікселі, які належать будь-якому з попередніх поколінь точок, відносяться до відблисків. Кордон області відблиску відповідає моменту різкої зміни нахилу дотичної до графіку у бік зменшення модуля похідної.

Інформація про яскравість пікселів, що використовується для пошуку меж відблисків, формується в результаті фільтрації початкового RGB зображення (для усунення високочастотних шумів) та подальшого переведення зображення в колірну модель YCrCb [16]. У цьому просторі компонент Y включає тільки інформацію про яскравість пікселів, а компоненти Cb і Cr містять лише інформацію про колір та насиченість. Такий простір дозволяє передати компонент яскравості з більшою роздільною здатністю, ніж компоненти кольоровості.

Визначення компонентного сигналу задається через сигнали основних кольорів R, G, B із рівнянь:

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B.$$

$$(R - Y) = R - 0,299R - 0,587G - 0,114B = 0,701R - 0,587G - 0,114B.$$

$$(B - Y) = B - 0,299R - 0,587G - 0,114B = -0,299R - 0,587G + 0,886B.$$

Тут R, G, B – вихідні сигнали основних кольорів, скореговані з метою забезпечення оптимальної якості зображення.

На сьогоднішній день колірна модель YCrCb є досить поширеним кольоровим простором. В цій колірній моделі колірний відтінок відокремлений від яскравості, що є важливим в умовах недостатньо рівномірного освітлення об'єкту дослідження.

Якщо значення сигналів в колірному просторі YCrCb привести до одиниці, то отримаємо значення для білого, чорного та насичених основних та додаткових кольорів.

Значення сигналу Y знаходяться в межах від 0 до 1, значення сигналів для Cr змінюються від  $-0,701$  до  $0,701$  та від  $-0,886$  до  $0,886$  для Cb. Приведення діапазонів зміни сигналів Cr та Cb до одиниці досягається введенням нормуючих коефіцієнтів  $K_r = 0,5/0,701 = 0,713$ ,  $K_b = 0,5/0,886 = 0,564$ .

Сигнал яскравості і нормовані кольорові сигнали пов'язані з сигналами основних кольорів наступним матричним перетворенням:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cr \\ Cb \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,5 & -0,41869 & 0,08131 \\ -0,168874 & 0,33126 & 0,5 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}.$$

#### 4 Аналіз методів виключення атмосферних опадів з зображення

Джерелом зовнішнього шуму може бути середовище між об'єктом і пристроєм, що реєструє, наприклад, пил або опади в атмосфері.

Шуми можуть бути викликані зовнішніми випадковими процесами і спостерігатися як Гаусов шум, так і імпульсний шум, або їх комбінація.

Для пригнічення біполярних імпульсних шумів використовується медіанний фільтр Тьюкі [17] з використанням ковзного вікна. Але він має певні недоліки, які полягають в тому, що замінюється, у загальному випадку, більшість точок зображення.

Дана особливість алгоритму пов'язана з ковзним вікном фільтру, яке задає інтенсивність точки з координатами, відповідними координатам його центральної точки, при цьому береться медіанне значення інтенсивності для всього вікна (рис. 2).

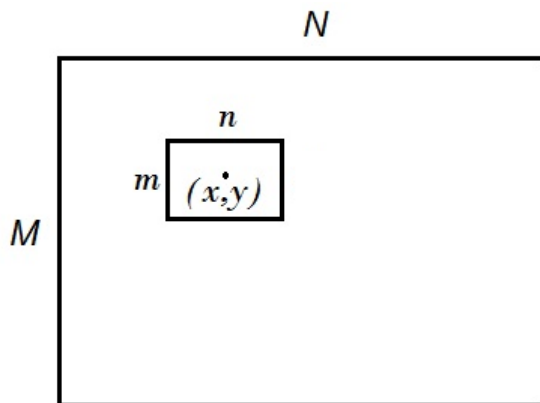


Рис. 2. Зображення  $M \times N$  та ковзне вікно  $m \times n$

Тобто, якщо рахувати інтенсивності на зображенні випадково розподіленими величинами, а розмір вікна рівним  $m \times n$  дискретних відліків, то ймовірність того, що інтенсивність точки на зображенні залишиться незмінною, буде обернено пропорційна площі вікна  $m \times n$ .

Таким чином, у загальному випадку, навіть для невеликого вікна  $3 \times 3$  більша частина інтенсивностей на зображенні буде змінена та їх частка зростає зі збільшенням вікна.

В роботі [14] запропоновано адаптивний медіанний фільтр Гонсалеса, в якому введено додаткове припущення про характер шуму, а саме – що відповідно до моделі біполярного шуму, інтенсивності імпульсів, які необхідно пригнічити, можуть дорівнювати тільки максимально і мінімально можливим значенням, і використовувати це припущення для того, щоб застосовувати фільтр тільки для точок, що відповідають даному критерію.

Запропонований біполярний імпульсний шум є спрощеною моделлю, у зв'язку з чим адаптивний фільтр Гонсалеса часто буває непридатним для реальних зображень. Значення інтенсивностей імпульсів на зображенні можуть приймати більше двох значень, відмінних від мінімального і максимально можливих у кольоровому просторі, що розглядається.

У статті [18] проведено всебічний аналіз візуальних ефектів дощу та різні фактори, що впливають на нього. На основі цього аналізу проведено моделювання дощу та застосування отриманої моделі в комп'ютерному зорі. Розроблено фотометричну модель, що описує інтенсивність окремих смуг дощу, та динамічну модель, що фіксує просторово-часові властивості дощу.

Водночас ці моделі описують повний візуальний вигляд дощу. З використанням цих моделей розроблено алгоритм постобробки для виявлення та видалення дощу.

Проаналізовано унікальні фізичні властивості дощу – його невеликий розмір, висока швидкість та просторовий розподіл. Видимість дощу сильно залежить від параметрів камери. Ця залежність використовується для зменшення видимості дощу під час отримання зображення шляхом розумного вибору параметрів камери.

Тим не менш, запропоновані моделі потребують доповнення для врахування інших опадів, наприклад, снігу та туману.

В роботі [19] пропонується перетворити біполярну модель імпульсного шуму в модель мультиполярного імпульсного шуму. Його суть полягає в тому, що шум може мати декілька основних значень (поліосів) із розкидом значень інтенсивностей щодо поліосів. Пропонується обробляти цей шум у три етапи.

**Перший етап.** Аналіз зображення об'єкта, що вимагає обробки – зображення з накладеним мультиполярним імпульсним шумом. Визначення поліосів інтенсивностей на гістограмі (для випадку монохроматичного зображення). Ці поліоси будуть змішані з вихідним зображенням, тому їхнє визначення може бути ускладнене – поліоси можуть "тонуть" в іншому сигналі, або мати помилкові піки. Для отримання більш чистих даних здійснюється реєстрація серії зображень без об'єктів за тих же умов, що і зображення, що обробляється.

Таким чином, виходить серія зображень, на яких присутній тільки імпульсний шум, чи серія зображень, за якими можна статистично виявити поліоси шуму.

**Другий етап.** Розглядається ситуація, коли на фоні шуму є об'єкт. Формується така ж гістограма шуму, як на вихідному зображенні, але, інша реалізація шуму, ніж на зображенні без об'єкта. Для зображення інтенсивності імпульсів розташовуються біля набору поліосів  $z_1 = 239$ ,  $z_2 = 119$  і  $z_3 = 48$ . При цьому, присутній розкид значень (який можна вважати нормальним розподілом відхилення від поліоса).

У реальних системах реєстрації зображень такий розкид можна пояснити наявністю адитивного шуму в системі, а також усуненням центру імпульсу щодо пікселя. Наочно проілюструвати такий розподіл можна як гістограми щільності ймовірності значень інтенсивностей  $z$  імпульсного шуму. На основі одержаного розподілу налаштовується модель мультиполярного імпульсного шуму. Ця модель використовується для формування умови застосування медіанного фільтру для кожного конкретного пікселя зображення.

**Третій етап.** Виконується видалення мультиполярного імпульсного шуму на зображенні, за допомогою медіанного фільтру з застосуванням умови спрацьовування: заміщення на медіанне значення  $Z_{med}$  ковзного вікна її центральної точки проводиться тільки коли її інтенсивність відповідає ймовірним значенням обраної моделі мультиполярного імпульсного шуму:

$$z(x, y) = z_i \pm \delta z_i, i = 1, \dots, n,$$

де  $\delta z_i$  – обране допустиме середньоквадратичне відхилення відповідно до моделі (тобто, величина, що відповідає обраному діапазону значень імпульсу навколо полюса  $z_i$ ).

Модель мультиполярного імпульсного шуму дозволяє більш детально моделювати процес формування зображень в умовах зашумлення. Тим не менш в роботі не наведено практичних результатів для реальних зображень.

В статті [20] запропоновано алгоритм видалення дощу, який включає як часові, так і хроматичні властивості дощу на відео. Дощ можна розглядати як сукупність сферичних крапель, які випадково розподілені та рухаються з високою швидкістю. Коли краплі дощу знаходяться дуже далеко від камери, їх візуальний ефект дуже слабкий і вони виглядають як туман [21].

Тому розглядаються лише краплі дощу, які знаходяться близько до камери.

Сферична крапля дощу має широкий спектр заломлення світла [22]. Отже, проекція краплі дощу на зображення набагато яскравіше, ніж фон. Проведене дослідження показує, що збільшення інтенсивностей R, G, B кольорів залежить від фонові сцени. Через різницю в довжині хвилі синє світло має більший індекс заломлення та ширше поле зору, ніж червоне світло.

Тому крапля дощу повинна сильніше заломлювати синій колір світла, що надходить із фону.

Використовуючи обидві властивості в роботі [20] розроблено алгоритм видалення дощу, який може виявляти та видаляти смуги дощу в стаціонарних і динамічних сценах. За допомогою запропонованого алгоритму може бути видалений як легкий, так і сильний дощ, як дощ у фокусі та дощ поза фокусом.

Експериментальні результати показують, що алгоритм працює краще, ніж існуючий методи.

У статті [23] представлено імовірнісний метод, який використовує статистичні дані як альbedo, так і глибини сцени, щоб видалити з зображення шуми, викликані зваженими частинками, такими як туман і імла, що значно погіршують якість зображення. Ключова ідея полягає в тому, щоб змоделювати зображення за допомогою марковського випадкового поля, в якому альbedo та глибина сцени є двома статистично незалежними шарами.

Показано, що можна використати статистичні дані зображення та глибини на цих прихованих шарах і розкласти туманне зображення на множники. Експериментальні результати показують, що запропонований метод забезпечує більш точне відновлен-

ня порівняно з сучасними методами, які зосереджені лише на індивідуальному відновленні альbedo або глибини сцени.

В роботі [24] розроблено модель форми та виявлення окремих смуг дощу в просторі зображення. Виявлення окремих смуг ускладнене навіть за наявності точної моделі зовнішнього вигляду, тому поєднано модель смуг із статистичними характеристиками дощу, щоб створити модель загального ефекту динамічної погоди в частотному просторі. Потім модель адаптується до відео та використовується для виявлення смуг дощу спочатку в частотному просторі, а потім результат виявлення переноситься в простір зображення.

Також розроблено модель для виявлення смуг снігу. Після виявлення, кількість дощу або снігу можна зменшити або збільшити. Демонструється, що частотний аналіз забезпечує більшу точність у видаленні динамічної погоди та продуктивності вилучення ознак, ніж попередні методи на основі пікселів.

Також показано, що на відміну від попередніх методів, такий підхід ефективний для відео з рухами сцени та камери.

Ця модель підходить, коли смуги дощу помітні, але розроблена модель не дозволяє виявити смугу дощу, коли вона недостатньо чітка.

З проведеного аналізу можна зробити висновок, що на сьогоднішній день алгоритми та методи виключення атмосферних опадів з зображення, які б враховували різноманітні опади, не достатньо розроблені та потребують подальших досліджень.

## Висновки

В статті проаналізовано методи візуального планування, тобто методи які являють собою розширення методів планування та обходу перешкод для завдань, у яких джерелом інформації про довкілля є системи технічного зору.

При роботі в реальних умовах треба враховувати наявність атмосферних опадів та наявність сонячних відблисків або відблисків, що надходять від інших джерел освітлення.

Щодо боротьби з відблисками в статті розроблено методіку виявлення та виключення відблисків з зображення.

Проаналізовано методи виключення з зображення зашумлень у вигляді наявності несприятливих погодних умов (дощ, сніг, туман). Зроблено висновок, що методи виявлення та видалення різноманітних видів опадів в системах технічного зору потребують подальших досліджень.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Burschka D., Geiman J., Hager G. Optimal landmark configuration for vision-based control of mobile robots [Text] // Proc. of 2003 IEEE ICRA, Taipei, Taiwan, Sept. 14–19, 2003. P. 3917–3922.
2. Hayet J.B., Lerasle F., Devy M. Visual Landmarks Detection and Recognition for Mobile Robot Navigation [Text] // Proc. of 2003 IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'2003). Madison, Wisconsin, USA, 2003. V. II. P. 313–318.
3. Jurie F., Dhome M. Hyperplane Approximation for Template Matching [Text] // IEEE. Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2002. V. 24, №7. P. 996–1000.
4. Lourakis M. I.A., Orphanoudakis S. C. Visual Detection of Obstacles Assuming a Locally Planar Ground. [Text] // Technical Report FORTH-ICS, TR-207. 1997.

5. Lorigo L. M., Brooks R.A., Grimson W. E. L. Visually-Guided Obstacle Avoidance in Unstructured Environments [Text] // Proc. of IEEE Conf. on Intelligent Robots and Systems, 1997. P. 373–379.
6. Santos-Victor J., Sandini G., Curotto F., Garibaldi S. Divergent stereo in autonomous navigation: from bees to robots [Text] // Intern. J. of Computer Vision. 1995. P. 159–177.
7. Coombs D., Herman M., Hong T., Nashman M. Real-time Obstacle Avoidance Using Central Flow Divergence and Peripheral Flow [Text] // IEEE Transactions on Robotics and Automation. 1995. P. 276–283.
8. Klein K., Sequeira V. View planning for the 3D modelling of Real World Scenes [Text] // 2000 IEEE/RSJ IROS. 2000. V. II. P. 943–948.
9. Ганченко В.В., Дудкин А.А., Инютин А.В., Поденок Л.П. Моделирование оптико-электронной системы беспилотных летательных аппаратов [Текст] // «Штучний інтелект» № 3. – 2010. – С. 453-461.
10. Проценко М.М. Аналіз методів цифрової обробки відеозображень апаратурою безпілотного літального апарата [Текст] // Вісник ЖДТУ № 3(62). – 2012. – С. 67-72.
11. Толкунова Ю.М. Розробка системи подолання перешкод для безпілотного літального апарату [Текст] // Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Control, Navigation and Communication Systems № 2, – 2022. – С. 32-36.
12. Hossen, J. A. Modified Hybrid Fuzzy Controller for Real-Time Mobile Robot Navigation [Text] / J. Hossen, S. Sayeed, A.K.M. Parvez Iqbal // Procedia Computer Science. – 2015. – V.76. – P. 449-454.
13. Algabri, M. Comparative study of soft computing techniques for mobile robot navigation in an unknown environment [Text] / M. Algabri, H. Mathkour, H. Ramdane, M. Alsulaiman // Computers in Human Behavior. – 2015. – V.50. – P. 42-56.
14. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
15. Jia Z., Wang H., Caballero R.E. et al. A two-step approach to see-through bad weather for surveillance video quality enhancement [Text] // Machine Vision and Applications. 2012. V. 23. No. 6. –P. 1059-1082.
16. Технології створення мультимедіа застосувань [Електронний ресурс] // Конспект лекцій для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Інженерія програмного забезпечення» / Укладач О. О. Шумейко. – Кам'янське: ДДТУ, 2019 – 169 с.
17. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддингс – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
18. Garg K., Nayar S.K. Vision and rain [Text] // Intern. J. Computer Vision. 2007. V. 75. No. 1. P. 3–27.
19. Экземпляр П. А. Устойчивые численные методы математического моделирования задачи восстановления искаженных изображений [Текст] : диссертация кандидата техн. наук : 05.13.18 / Экземпляр Роман Алексеевич. – СПб., 2018. – 125 с.
20. Zhang X., Li H., Qi Y., Leow W.K., Ng T.K.: Rain removal in video by combining temporal and chromatic properties [Text] // In: Proceedings of 2006 IEEE International Conference on Multimedia and Explosion, pp. 461–464 (2006).
21. Garg K., Nayar S.K. When does a camera see rain? [Text] // in Proc. ICCV 2005. V. 2. P. 1067–1074.
22. Garg K., Nayar S.K. Detection and removal of rain from videos [Text] // in Proc. CVPR 2004, V. 1. P. 528–535.
23. Kratz L., Nishino K. Factorizing scene albedo and depth from a single foggy image [Text] // In: Proceedings of 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision, pp. 1701–1708.
24. Barnum P., Narasimhan S.G., Kanade T. Analysis of rain and snow in frequency space [Text] // International Journal of Computer Vision. 2010. V86. P. 256–274.
25. Zelnik-Manor L., Machline M., & Irani M. Multi-body factorization with uncertainty: Revisiting motion consistency [Text] // International Journal of Computer Vision. 2006. V68(1). P. 27–41.

Received (Надійшла) 17.12.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 04.02.2023

### Improving the system of visual detection and overcoming obstacles for unmanned aerial vehicle

Yulija Tolkunova

**Abstract.** Most critical tasks are performed by unmanned aerial vehicles (UAV) under the control of an operator. However, the interaction of a robot and an operator in modern conditions is no longer management in the traditional form. Modern UAV are equipped with technical vision systems, databases and knowledge, on the basis of which the aircraft can make decisions independently. The robot's knowledge base allows it to independently navigate the environment and make decisions regarding the completion of the assigned task. The functions of the human operator now consist of setting tasks for the robot in a problem-oriented language, close to natural, and observing the actions of the robot. Visual planning is an extension of planning and obstacle avoidance methods for tasks in which the source of information about the environment is technical vision systems based on video cameras or scanning systems. The article provides an overview of visual planning methods. A large number of existing image processing methods and algorithms and their possible combinations make it possible to solve a wide variety of problems, to constantly improve existing algorithms and thereby increase the efficiency of image processing. But whatever method is used for visual planning, there are problems of obtaining quality input information related to meteorological conditions caused by precipitation and fog, and glare if the image is obtained using a video camera. It can be sun glare or glare from other lighting sources. The article proposes a technique for detecting and removing reflections from the image. Since the basic information about the environment that the robot analyzes depends on the quality of the image, appropriate methods that take atmospheric precipitation into account are needed. The article analyzes the methods of excluding various types of precipitation from the image and draws conclusions about the state of their development.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, overcoming obstacles, visual planning, glare detection, atmospheric precipitation, image processing.