МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Методи збору, розпізнавання та обробки зображень отриманих з використанням БПЛА для виявлення заданих об’єктів

Олександр Мельниченко, Олег Савенко, 2023 рік

1. Melnychenko O., Savenko O. A self-organized automated system to control unmanned aerial vehicles for object detection. The 4th International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security (IntelITSIS-2023) : CEUR-Workshop Proceedings. Vol. 3373. (Khmelnytskyi, Ukraine, 22–24 March 2023). Aachen : CEUR-WS.org, 2023. P. 589–600 (Scopus). URL: https://ceur-ws.org/Vol-3373/paper40.pdf

2. Melnychenko O. Method of real-time video stream synchronization in the working environment of an apple orchard. Computer systems and information technologies. 2023. No. 1(10). P. 91–97. DOI: https://doi.org/10.31891/csit-2023-1-12

3. Мельниченко О. Методи розпізнавання та обробки зображень за модифікованою YOLOv5-v1. Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security. 2023. Вип. 1. С. 74–84. DOI: https://doi.org/10.32782/IT/2023-1-10

Хмельницький – 2023

Актуальність теми

Синхронізація відеопотоків

Група БПЛА генерує зображення з різним позиціонуванням та різним кутом охоплення фруктових дерев, що унеможливлює ідентифікацію об’єктів на цих зображеннях

Динамічний збір

Ручне оцінювання стану врожайності фруктового саду займає надто багато часу

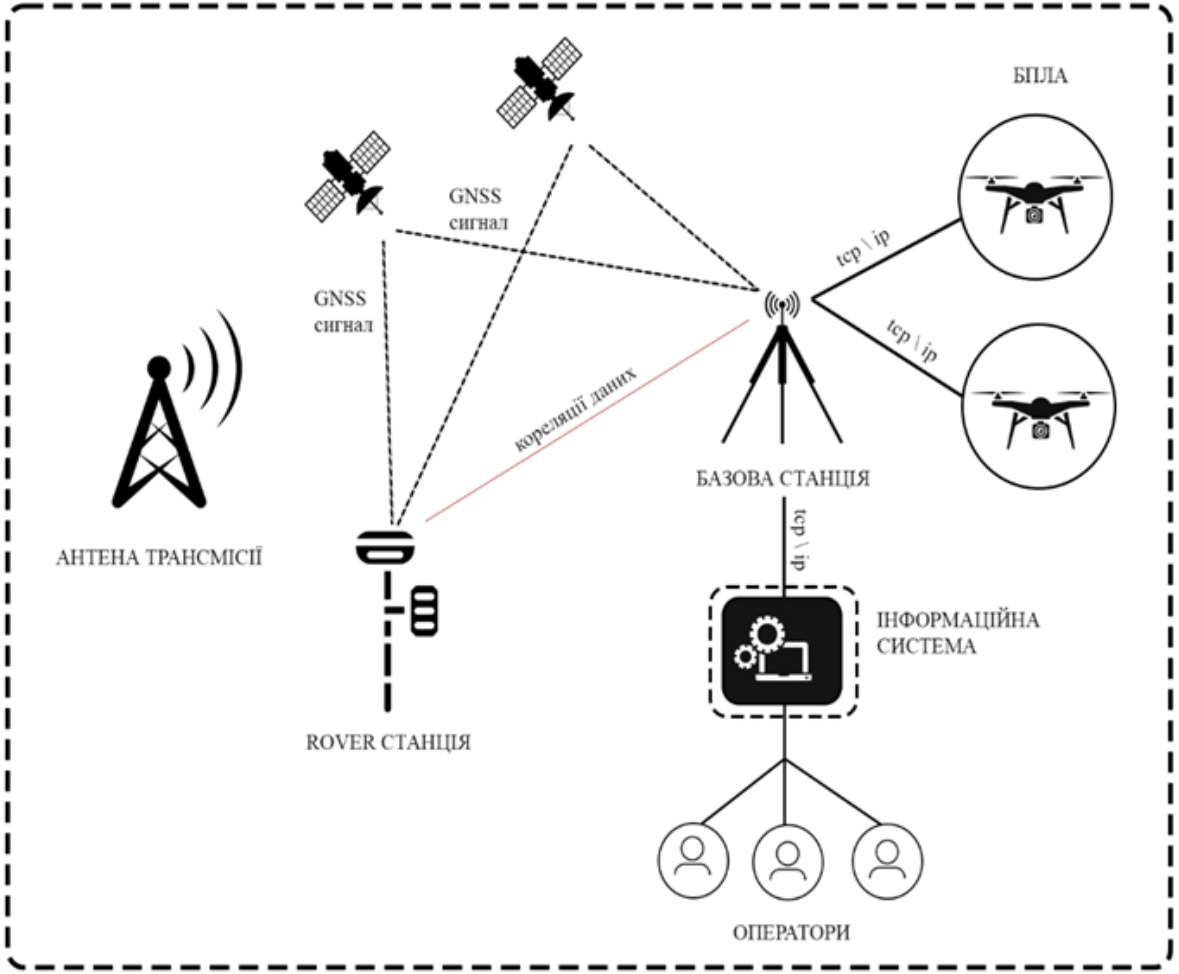
Позиціювання декількох БПЛА

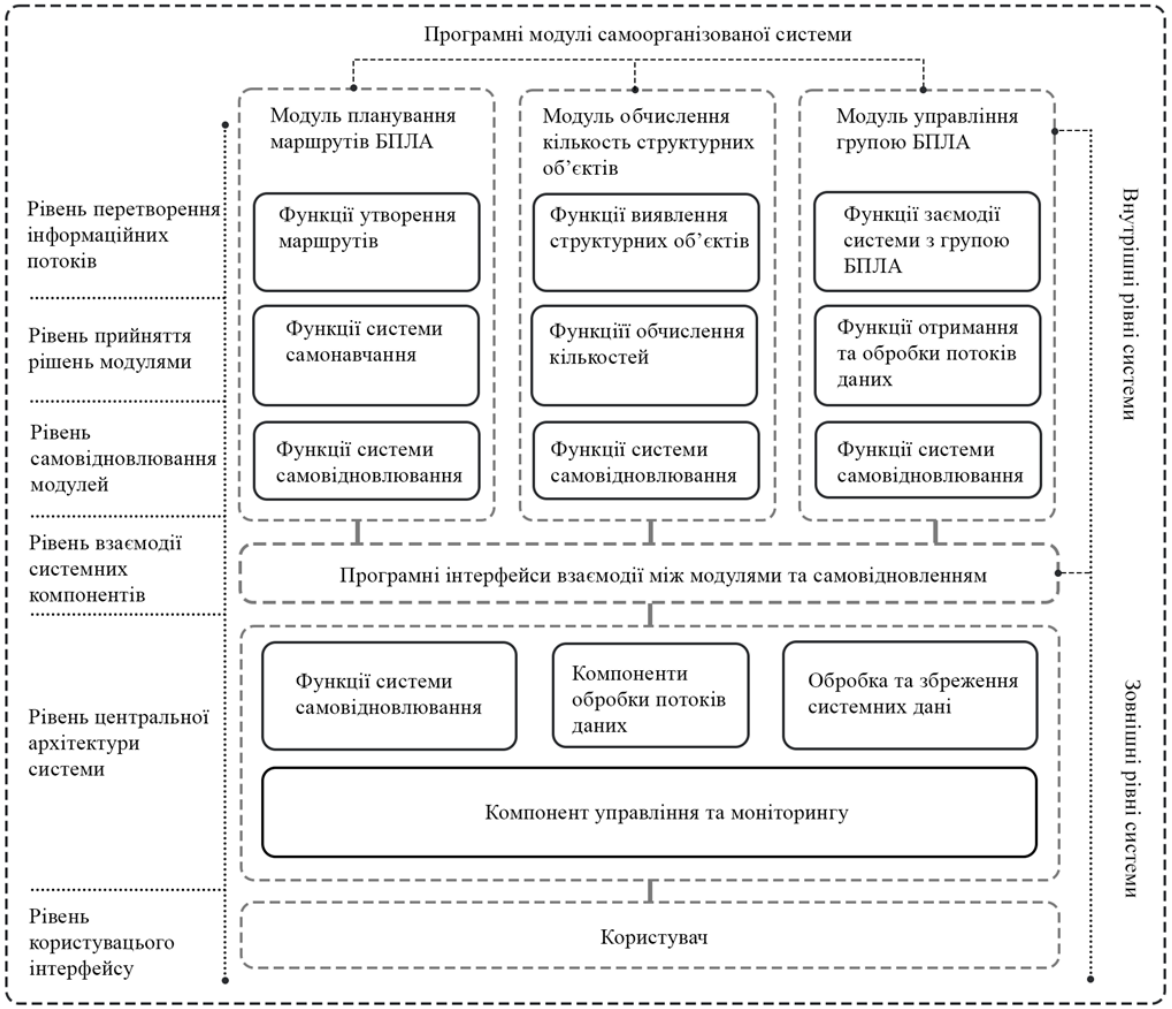
Камера одного БПЛА не дає змоги охопити врожайність одного фруктового дерева за один політ.

Засоби виявлення

Наявні засоби автоматичного виявлення об’єктів у фруктовому саду допускають велику кількість помилок.

Функціональне подання автоматизованої системи





Архітектура автоматизованої системи

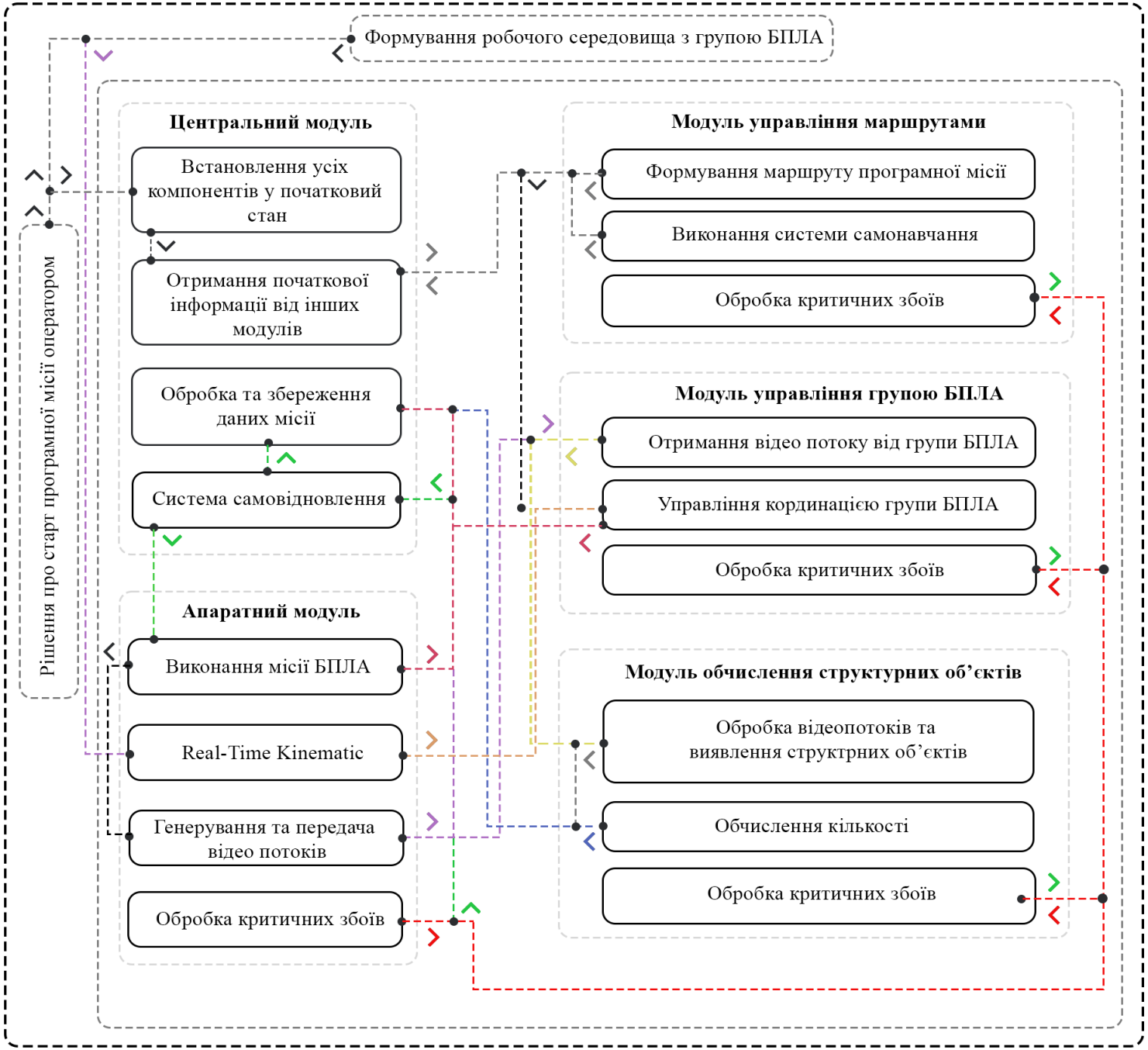
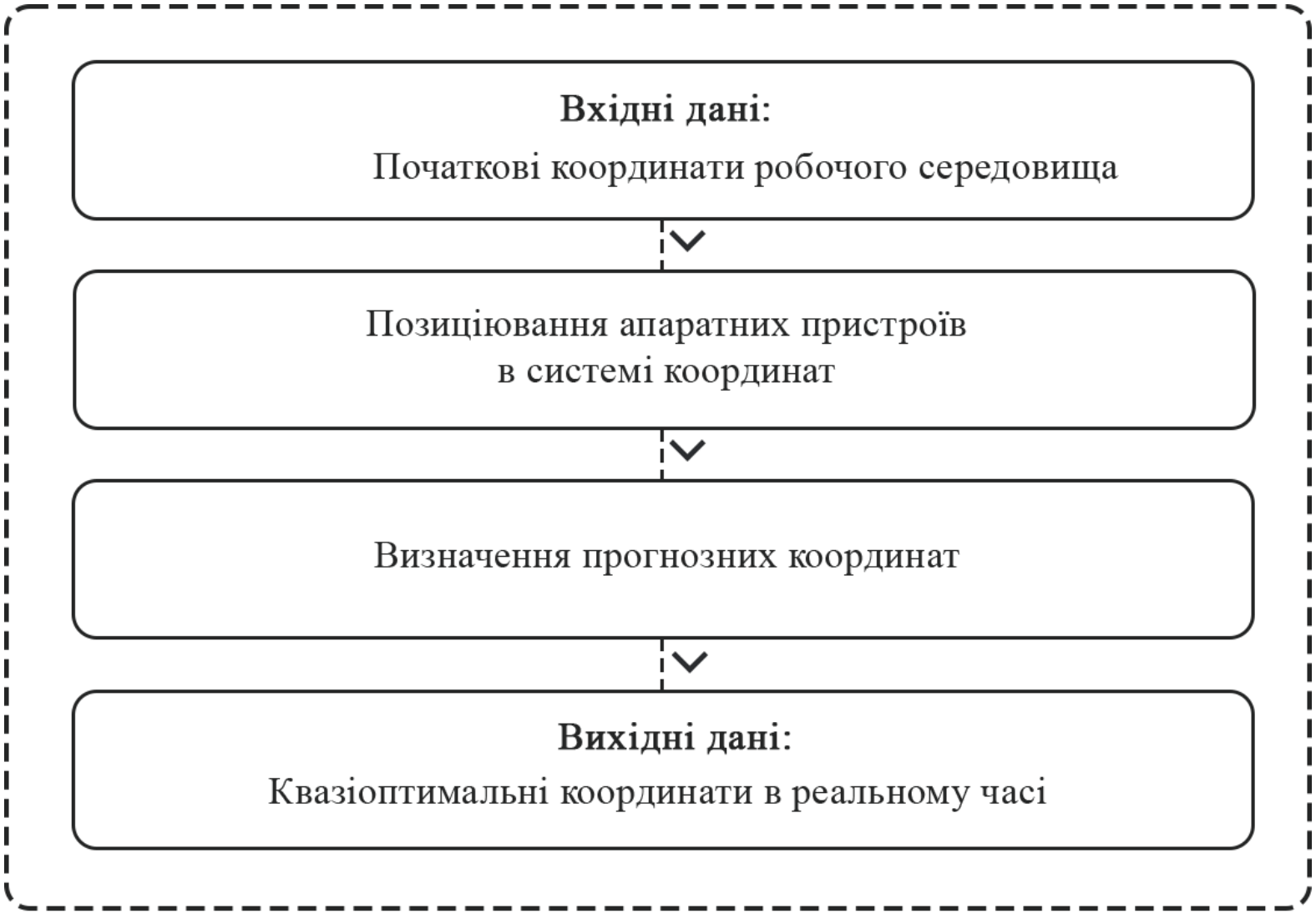
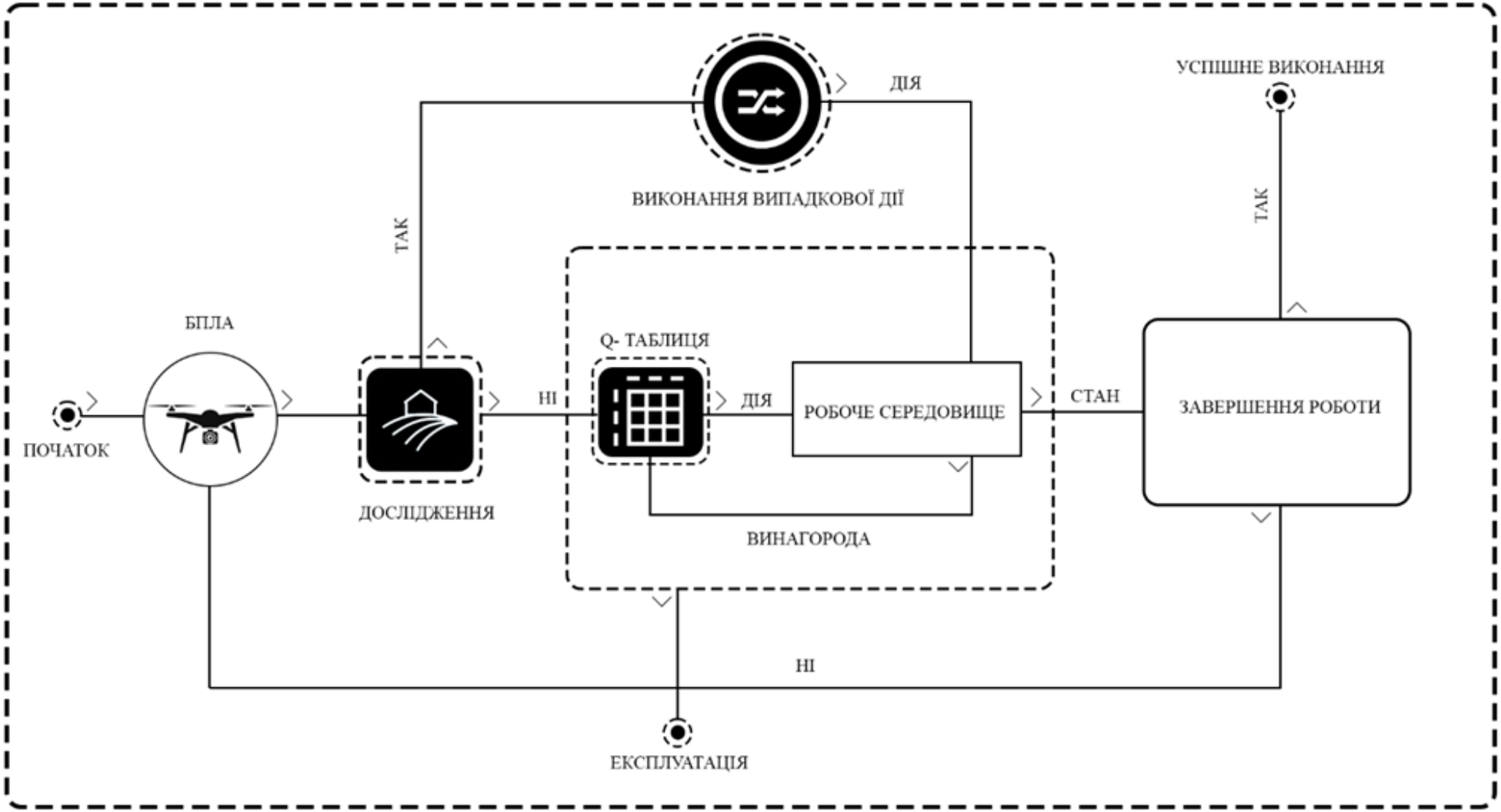


Схема методу побудови маршрутів БПЛА



НН1

Схема роботи модуля побудови маршрутів



Технологія самонавчання

Вхідними даними є сформована множина допустимих координат:
$W_t^b = \left\{A_{x,y,z,1}^b, A_{x,y,z,2}^b, \dots, A_{x,y,z,n_{xyz}}^b\right\}$, де $A_{x,y,z,n_{xyz}}^b$ – координати різних точок кількістю n_{xyz} у тривимірному просторі робочого середовища, які належать множині W_t^b, допустимих координат кожного b-го дрона в групі БПЛА, n_{xyz} – порядковий номер цих точок, що також вказує на їхню кількість.

Між кожними координатами множини W_t^b та координатами $C_{x,y,z}^b$, що відображають фактичне перебування дрона b у робочому середовищі, визначається “ліквідна відстань” за формулою:

$$D^b\left(A_{x,y,z,i}^b, C_{x,y,z}^b\right) = \sqrt{\left(A_{x,i}^b - C_x^b\right)^2 + \left(A_{y,i}^b - C_y^b\right)^2 + \left(A_{z,i}^b - C_z^b\right)^2},$$

де $D^b\left(A_{x,y,z,i}^b, C_{x,y,z}^b\right)$ – ліквідна відстань між фактичними координатами $C_{x,y,z}^b$ та координатами $A_{x,y,z,i}^b$ для кожного дрона b з множини W_t^b, $i = 1, \dots, n_{xyz}$.

Технологія самонавчання

Якщо відстань D^b набуває значення, що менше за допустимий поріг помилки $\varepsilon = 0.1$ для будь-якої координати $A^b_{x,y,z,i}$ з множини W^b_t, то поточні координати $C^b_{x,y,z}$ вважаються успішною координатною точкою, і Q-значення оновлюється за умови:

$$\exists A^b_{x,y,z,i} \in W_t : D\left(A^b_{x,y,z,i}, C^b_{x,y,z},\right) < \varepsilon,$$

що свідчить про те, що дрон успішно дотримується заданої траєкторії руху та успішно виконує підхід “дія-винагорода”.

Технологія самонавчання

У такому випадку Q-значення для даної дії A_t у поточному стані S_t буде оновлене за формулою:

$$Q(S_t, A_t) = Q(S_{t-1}, A_{t-1}) + \alpha\left(r_{t-1} + \gamma \cdot \max_A\{Q(S_t, A)\} - Q(S_{t-1}, A_{t-1})\right),$$

де $Q(S_{t-1}, A_{t-1})$, $1, \dots T$, – кількісне вираження винагороди, яку отримав інтелектуальний агент Q-алгоритму за досягнення попереднього стану S_{t-1}, T – загальний час роботи інтелектуального агента, α – коефіцієнт швидкості навчання моделі, $0 < \alpha \leq 1$, r_t – рівень винагороди, яку отримує інтелектуальний агент у разі переходу зі стану S_{t-1} до стану S_t, γ – коефіцієнт знецінювання, який визначає важливість майбутніх винагород, здобутих інтелектуальним агентом, $0 \leq \gamma \leq 1$, $\max_A\{Q(S_t, A)\}$ – оціночне кількісне значення майбутньої винагороди у разі виконання дії A, перебуваючи в стані S_t.

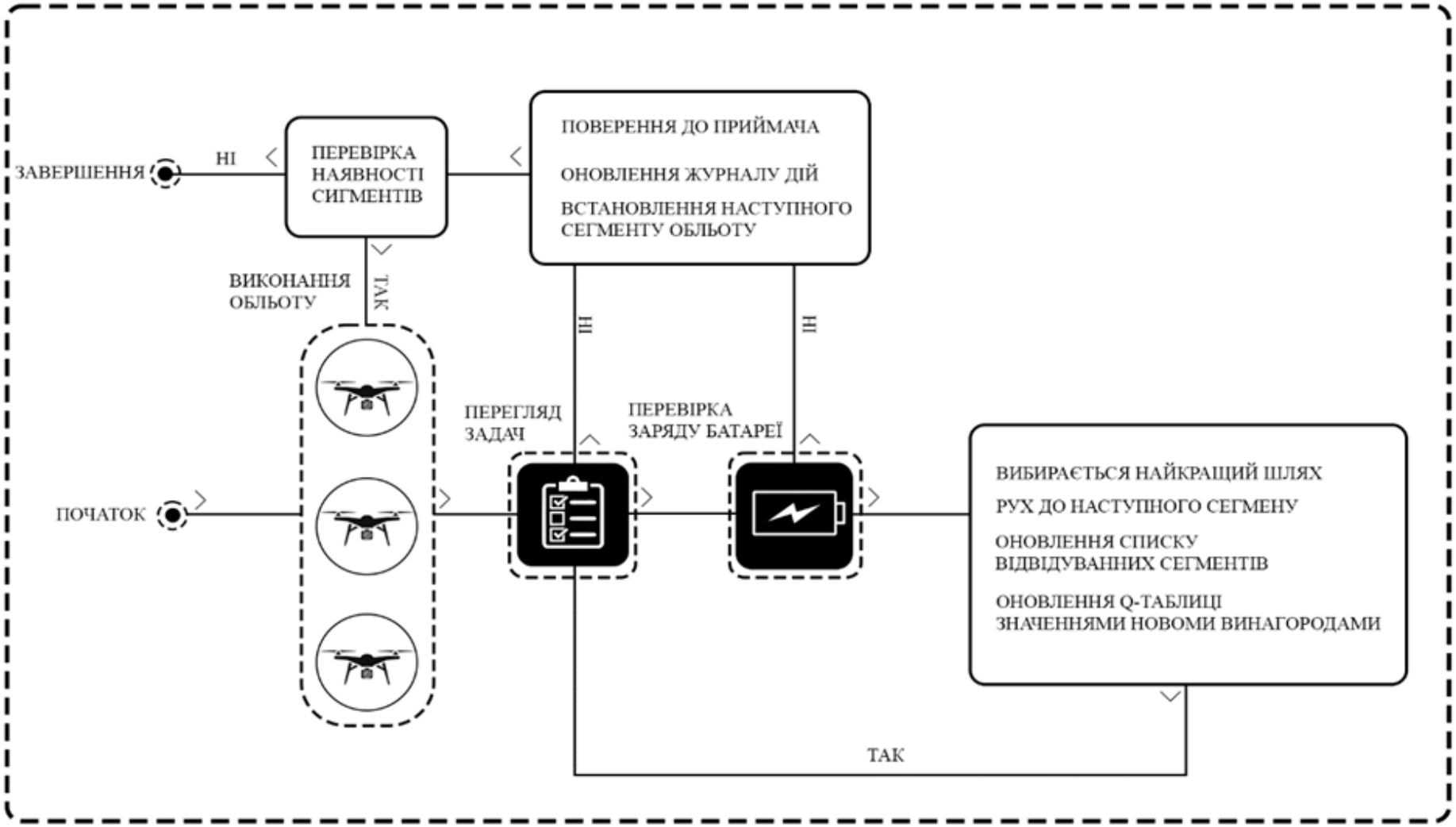
Технологія самонавчання

Приклад результату роботи модуль із Q-значеннями подано в таблиці:

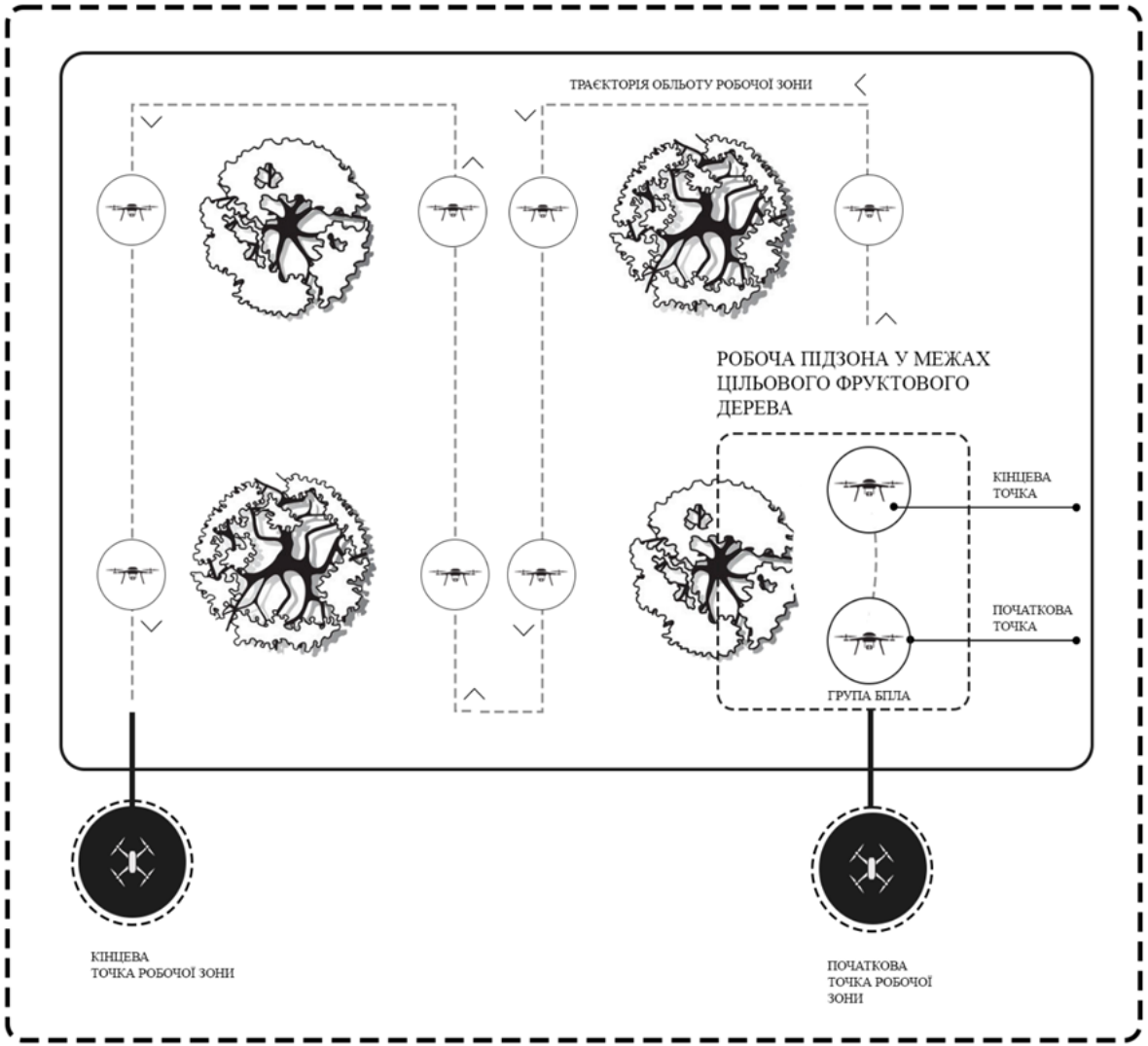
Стан	Дія A_1	Дія A_2	$\cdots$	Дія A_T
S_1	$Q(S_1, A_1)$	$Q(S_1, A_2)$	…	$Q(S_1, A_T)$
S_2	$Q(S_2, A_1)$	$Q(S_2, A_2)$	…	$Q(S_2, A_T)$
…	…	…	…	…
S_T	$Q(S_T, A_1)$	$Q(S_T, A_2)$	…	$Q(S_T, A_T)$

В таблиці вище $\mathrm{Q}(\mathrm{S_t}, \mathrm{A_t})$, $\mathrm{t} = 1, \ldots \mathrm{T}$, є кількісним вираженням винагороди, яку отримує інтелектуальний агент Q-алгоритму за досягнення поточного стану $\mathrm{S_t}$ та виконання дії $\mathrm{A_t}$ в момент часу t, T – загальний час роботи інтелектуального агента.

Схема руху БПЛА у робочому середовищі



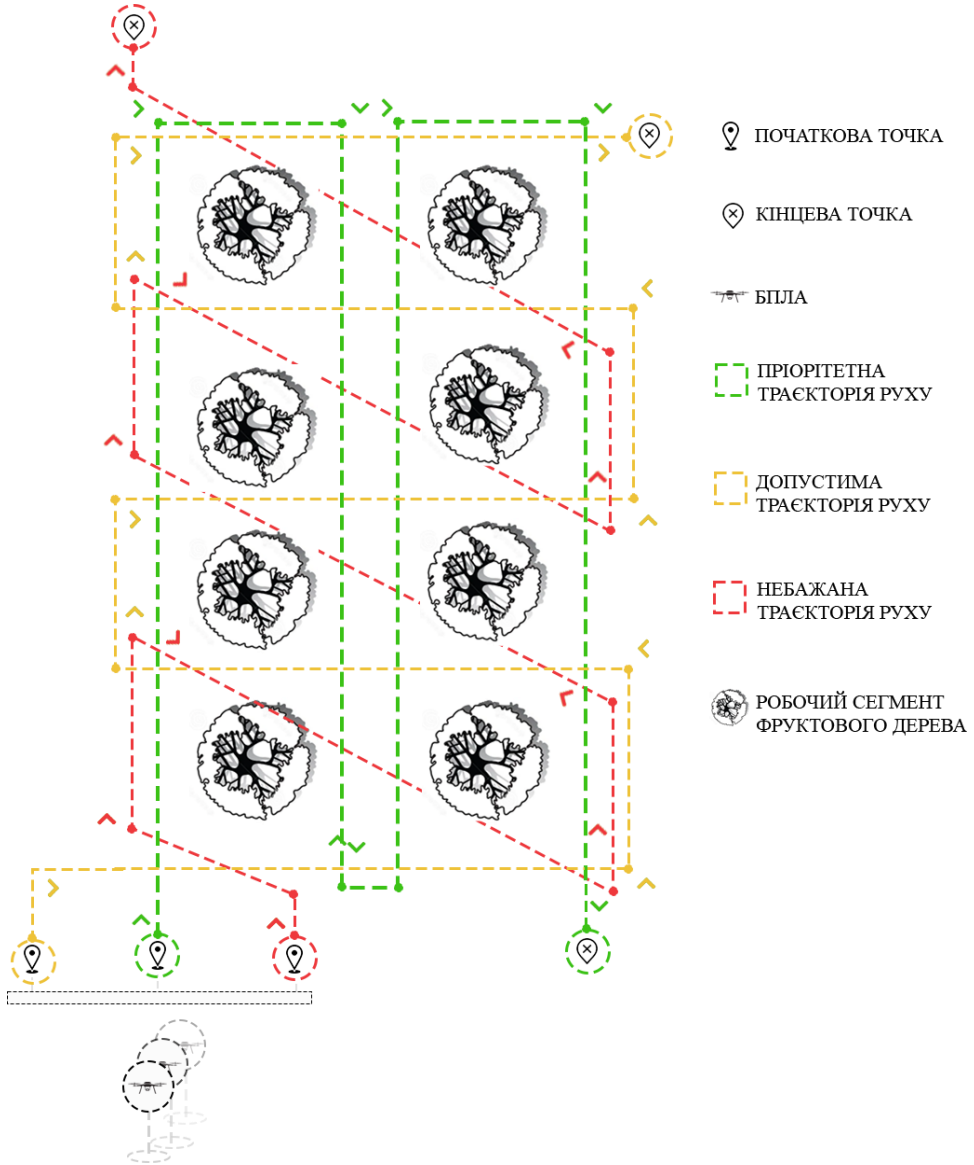
Пріоритетна траєкторія руху



$$T = \frac{D}{v}.$$

НН1

Схема можливих траєкторій руху групи БПЛА у робочому середовищі



$$T_1 = \frac{D^I}{v} = \frac{(n \times m \times d_1 + (m-1) \times d_1)}{v}.$$

$$T_2 = \frac{D^{II}}{v} = \frac{(n \times m \times (d_1 + d_2) - (m-1) \times d_2)}{v}.$$

$$T_3 = \frac{D^{III}}{v} = \frac{\sqrt{(d_1^2 + d_2^2)} \times n \times m}{v}.$$

НН1

Схема руху групи БПЛА у робочій зоні

Параметри *d1*, *d2*, *n*, *m* та *m* використовуються у формулах для обчислення відстані та часу для кожної можливої траєкторії руху групою БПЛА. Значення цих параметрів є сталими для кожної траєкторії руху в процесі обльоту групою БПЛА. Тому, щоб формально обґрунтувати відмінності між траєкторіями за часом обльоту, обчислимо різницю між *T1* та *T2*, а також різницю між *T2* та *T3*.

Різницю *ΔT1,2* між *T1* та *T2* визначимо так

$$\Delta T_{1,2} = T_1 - T_2 = \frac{D^I}{v} - \frac{D^{II}}{v}$$
$$= \frac{(n \times m \times d_1 + (m-1) \times d_2)}{v}$$
$$- \frac{(n \times m \times (d_1 + d2) - (m-1) \times d_2)}{v}$$
$$= \frac{(n \times m \times d_1 - n \times m \times d_2)}{v}.$$

Отже, $\Delta T_{1,2} > 0$, якщо $n \times m \times d_1 > n \times m \times d_2$, тобто $D^I > D^{II}$. Іншими словами, обліт відбувається швидше, коли відстань між робочими сегментами в ряду більша, ніж за відстань між самими рядами.

З проведеного аналізу ми маємо, що для будь-яких значень *d1* та *d2* різниці *ΔT1,2>0* та *ΔT2,3 >0*, що означає *T1< T2* та *T2<T3*. Тому, для мінімізації часу обльоту *T*, траєкторія руху *DI* є найкращим вибором для виконання робочих місії групою БПЛА.

Метод динамічного отримання зображень

Вхідні дані методу:

1. координати початкової точки робочого середовища;
2. координати кінцевої точки робочого середовища;
3. матриця координат початкових точок робочих сегментів;
4. матриця координат кінцевих точок робочих сегментів;
5. матриця координат початкової траєкторії руху БПЛА.

Вихідні дані методу:

- Три відеоряди з камер трьох БПЛА

Вхідні дані:
Початкові координати робочого сердовища

↓

Блок 1. Початок польоту групи БПЛА.
1.1. Підліт до найближчого фруктового дерева.
1.2. Збереження проміжних координат.

↓

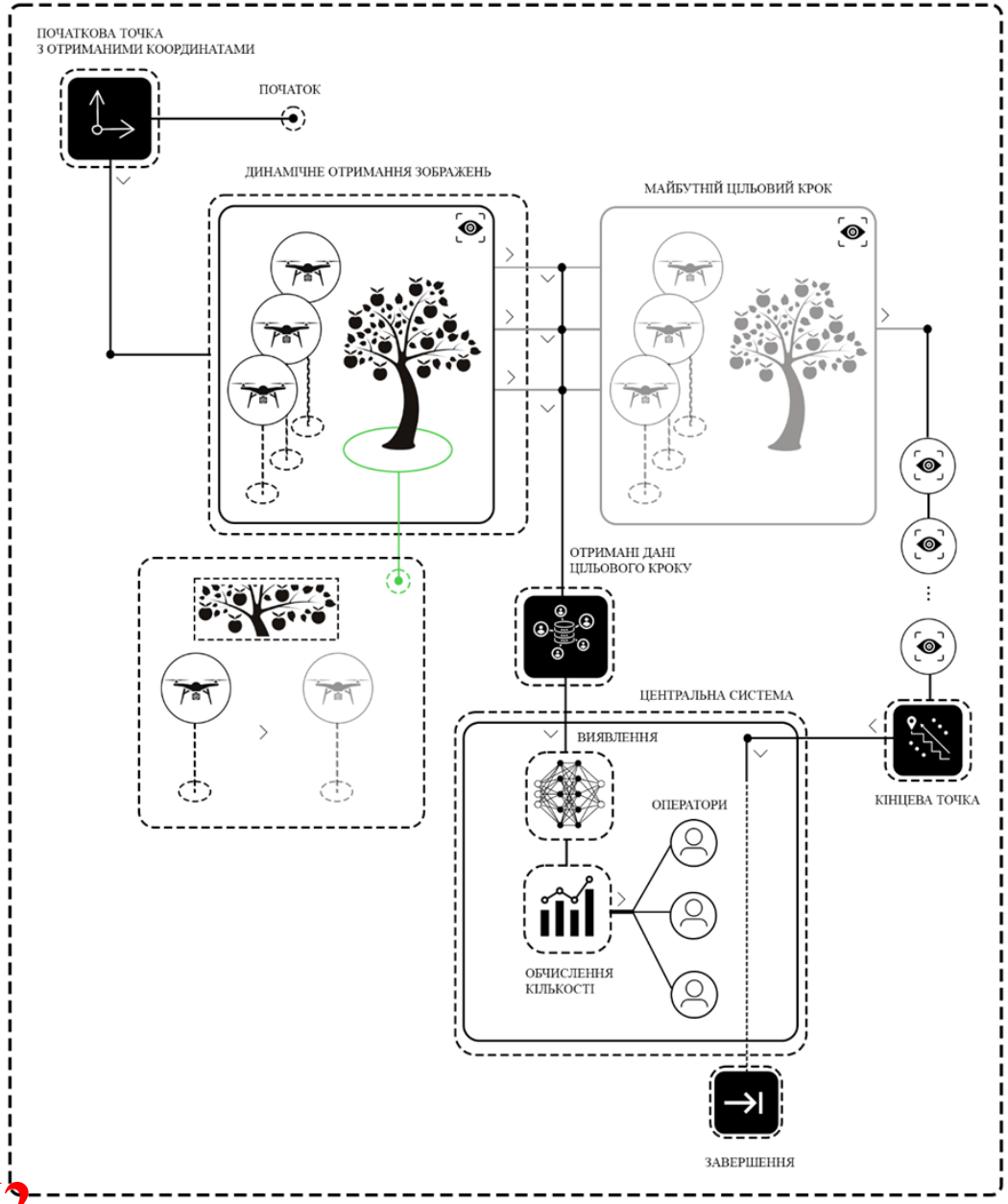
Блок 2. Формування відеоданих.
2.1. Формування інформаційного сигналу.
2.2. Генерація відеоряду та його передача в ЦС.
2.3. Обробка отриманих відеоданих.
2.4. Деактивація відеокамер.
2.5. Фізичне вимкнення камер.
2.6. Обробка результатів обльоту робочого сегменту.

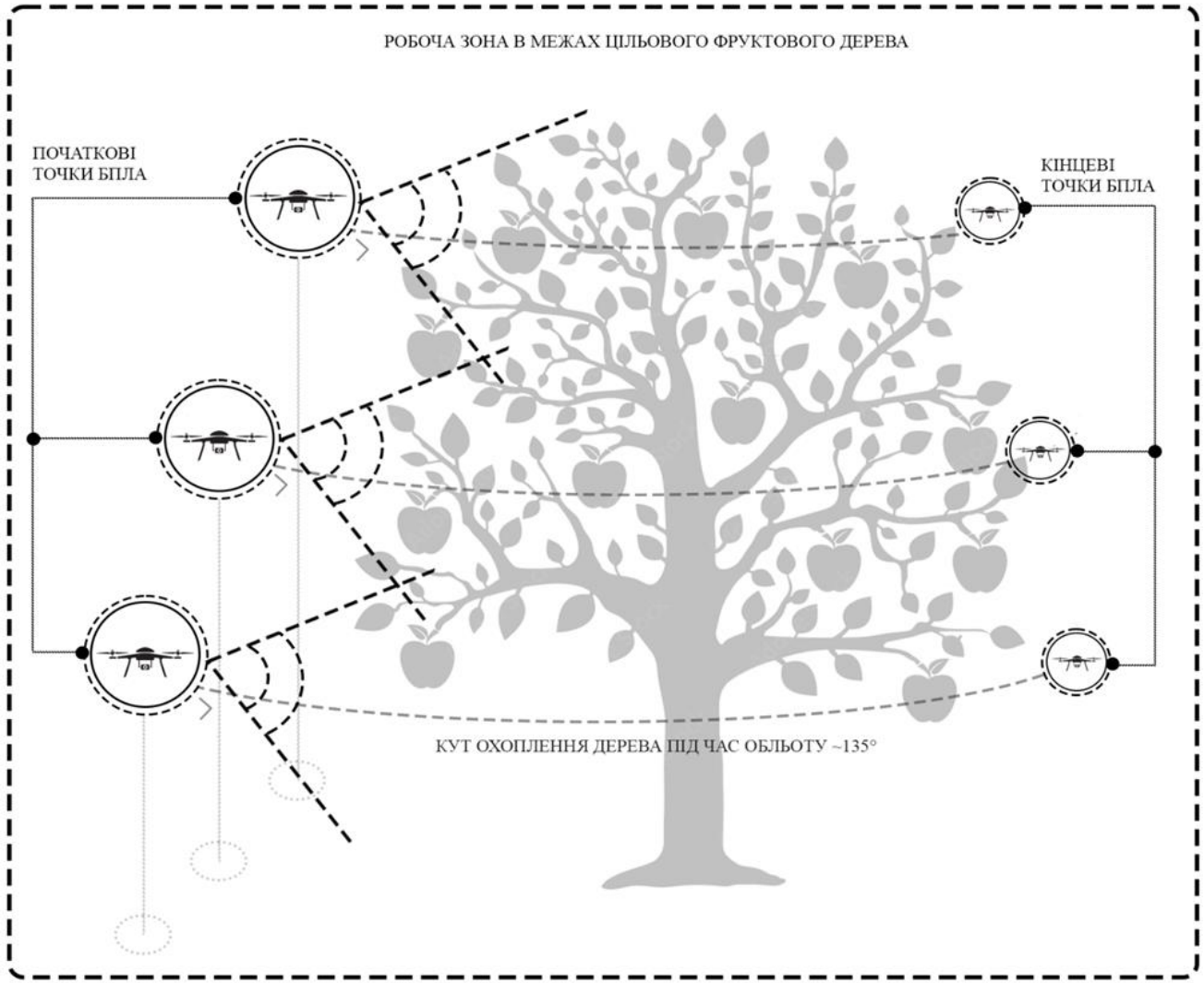
↓

Вихідні дані:
Відеоряд з цільовими об'єктами

НН2

Метод динамічного отримання зображень





НН2

Метод динамічного отримання зображень

Запропонований метод динамічного отримання зображень заданих структурних об’єктів в тривимірному просторі в процесі активації кожного БПЛА за допомогою декількох БПЛА забезпечує:

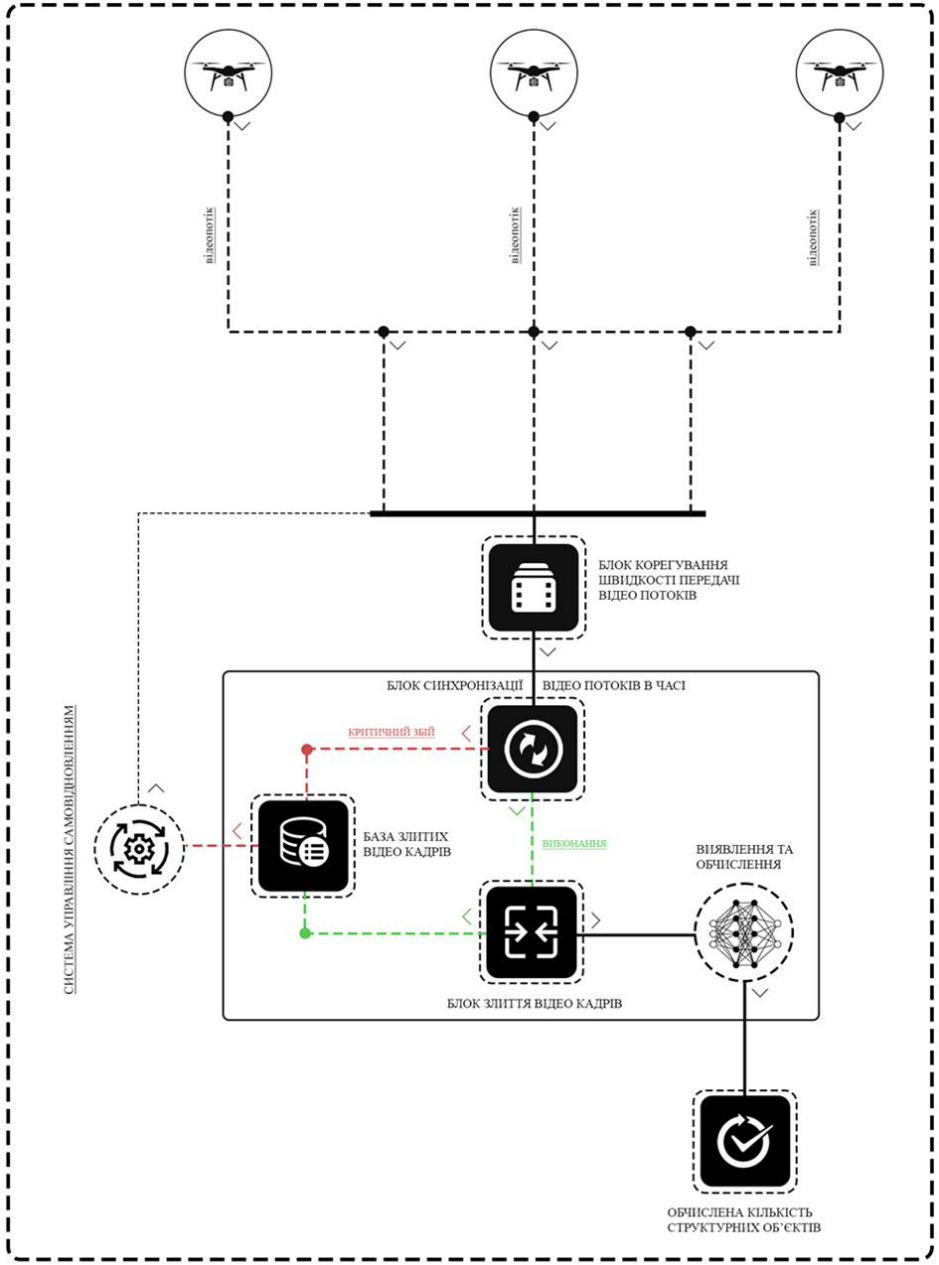
1. **генерацію відеоряду в центральну систему;**
2. **прийняття рішень про подальшу роботу групи БПЛА;**
3. **підтвердження цілісності програмної місії та визначення рівня критичності для продовження виконання роботи групи БПЛА**

Реалізація методу дає змогу покращити узгодження між різними БПЛА та досягти ***переміщення всієї групи БПЛА від заданих початкових до кінцевих точок*** програмної місії автономно.

Метод синхронізації відеопотоків

Основні блоки методу:

- Блок корегування швидкості передачі відеорядів.
- Блок синхронізації відеопотоків у часі.
- Блок злиття відеокадрів.



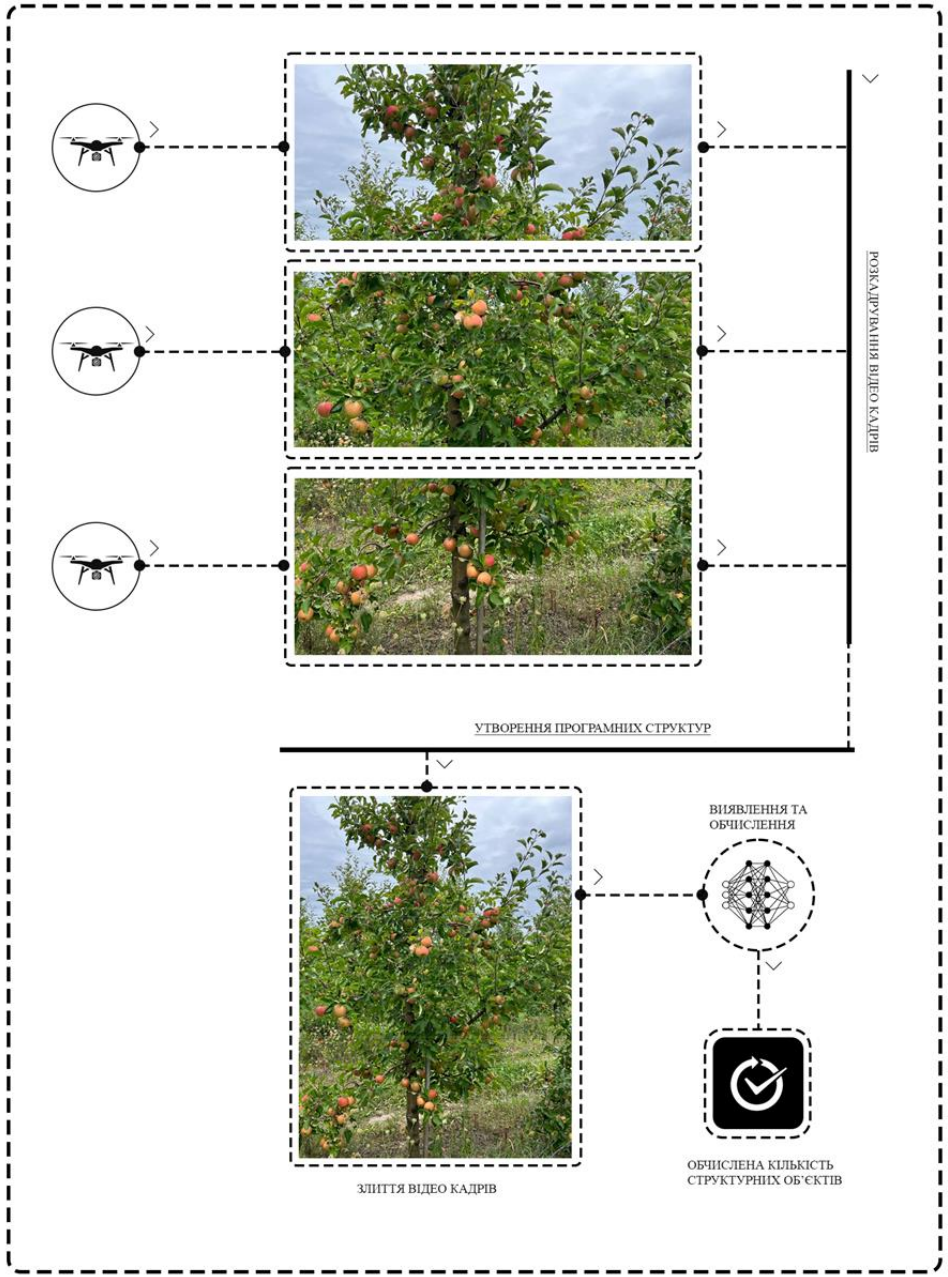
Покрокове представлення блока злиття відеокадрів

Крок 1. Множина байтів, що відображає розкадрований відеокадр, перетворюється у файл.

- 1.1. Здійснюється корегування кута повороту для множини зображень отриманих на кроці 1 з ***використанням афінного перетворення***.
- 1.2. Результати виконання перетворення зображень надсилаються до програмної функції злиття.

Крок 2. Злиття зображень.

- 2.1. До відеокадрів застосовується визначений у системі програмний фільтр для маскування переходів між ними.
- 2.2. Відфільтровані відеокадри надсилаються в програмний механізм стиснення.



Метод виявлення заданих структурних об’єктів

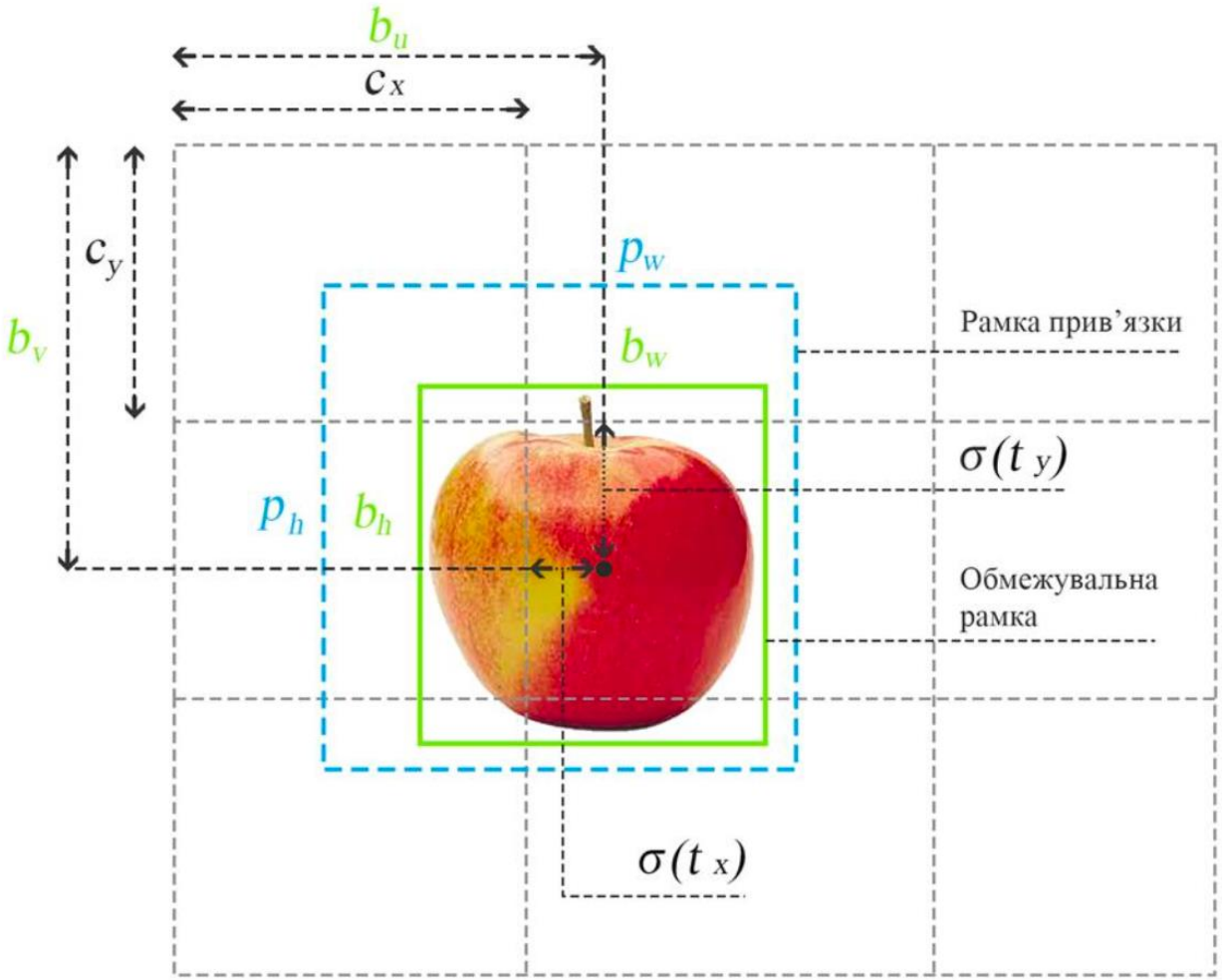
Модель цифрового зображення структурних об’єктів однієї природи подамо, як лінійне відображення:

$$f: I \to \langle C_{xy}, P^i_{h\times w}, B^i_{u\times v}, B^i_{h\times w}\rangle,$$

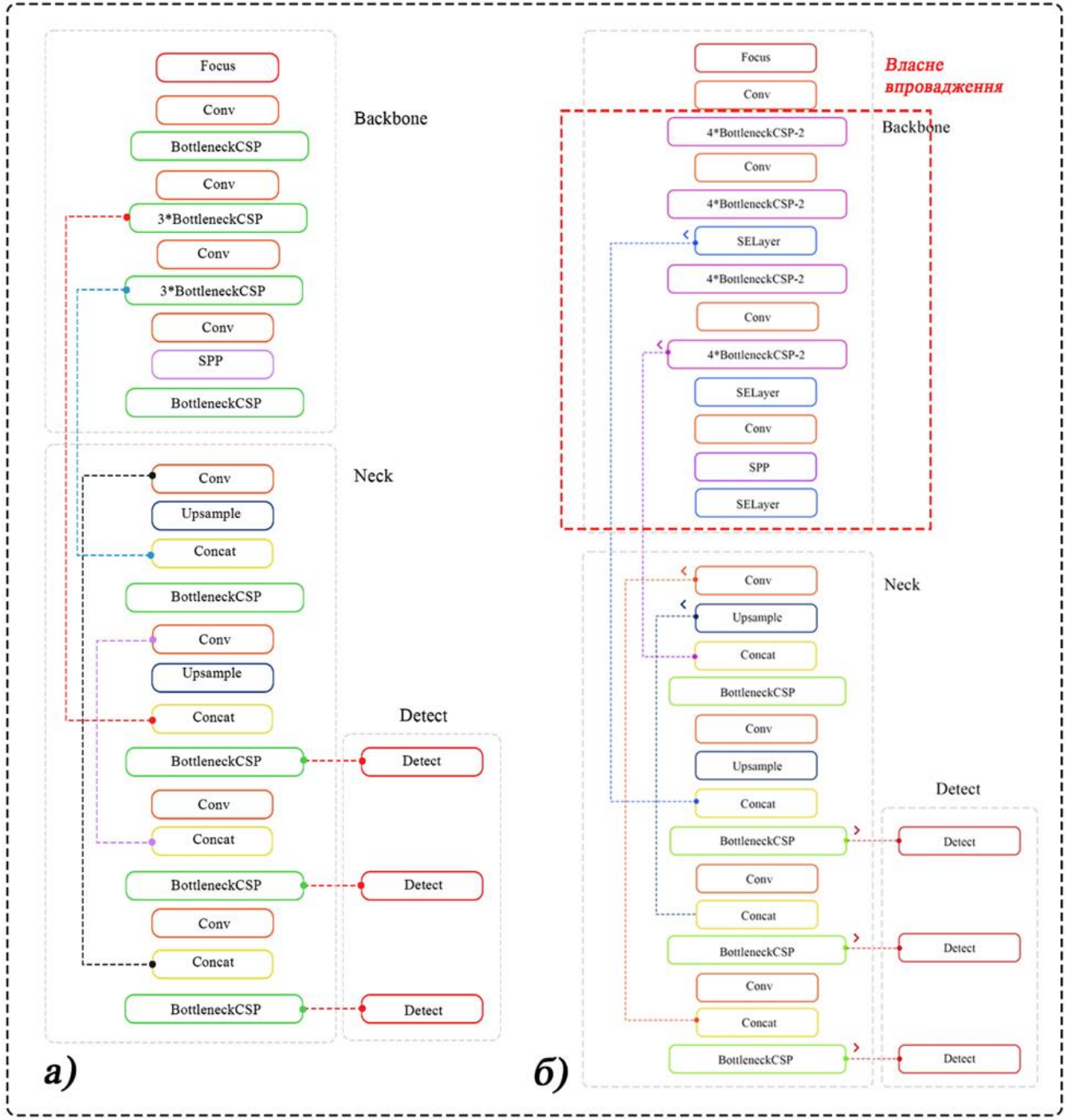
де $C_{xy} = (c_x, c_y)$ – ширина (c_x) та висота (c_y) координатної сітки C_{xy} координатної площини XY, утвореної для виявлення структурних об’єктів, $P^i_{h\times w} = (p^i_h, p^i_w)$ – висота (p^i_h) та ширина (p^i_w) прив’язувальної рамки i-го цільового структурного об’єкта в координатній площині XY, $B^i_{u\times v} = (b^i_u, b^i_v)$ – координати центру прив’язувальної рамки i-го цільового структурного об’єкта в координатній площині XY, $B^i_{h\times w} = (b^i_h, b^i_w)$ – висота (b^i_h) та ширина (b^i_w) обмежувальної рамки, що окреслює i-ий цільовий структурний об’єкт у координатній площині XY.

$$b^i_u = \sigma^i(t^i_x + c_x); \quad b^i_h = p^i_h e^{c_y};$$
$$b^i_v = \sigma^i(t^i_y + c_y), \quad b^i_w = p^i_w e^{c_x}.$$

Схема подання прив’язувальної рамки та прогнозування значень розмірів обмежувальної рамки на її основі



Архітектура вдосконаленої YOLOv5-v1



НН4

Значення початкових розмірів обмежувальних та прив’язувальних рамок

Оригінальної архітектури YOLOv5

Рамки	Карта ознак 1		Карта ознак 2		Карта ознак 3	
	p_h	p_w	p_h	p_w	p_h	p_w
Обмежувальні рамки	20	20	40	40	80	80
Прив’язувальні рамки, малі	10	13	16	30	33	23
Прив’язувальні рамки, середні	30	61	62	45	59	199
Прив’язувальні рамки, великі	116	90	156	198	373	326

Вдосконаленої архітектури YOLOv5-v1

Рамки	Карта ознак 1		Карта ознак 2		Карта ознак 3	
	p_h	p_w	p_h	p_w	p_h	p_w
Обмежувальні рамки	20	20	40	40	80	80
Прив’язувальні рамки, малі	80	70	75	75	85	100
Прив’язувальні рамки, середні	95	110	130	110	115	125
Прив’язувальні рамки, великі	116	90	156	198	373	326

Схема модуля фокусування

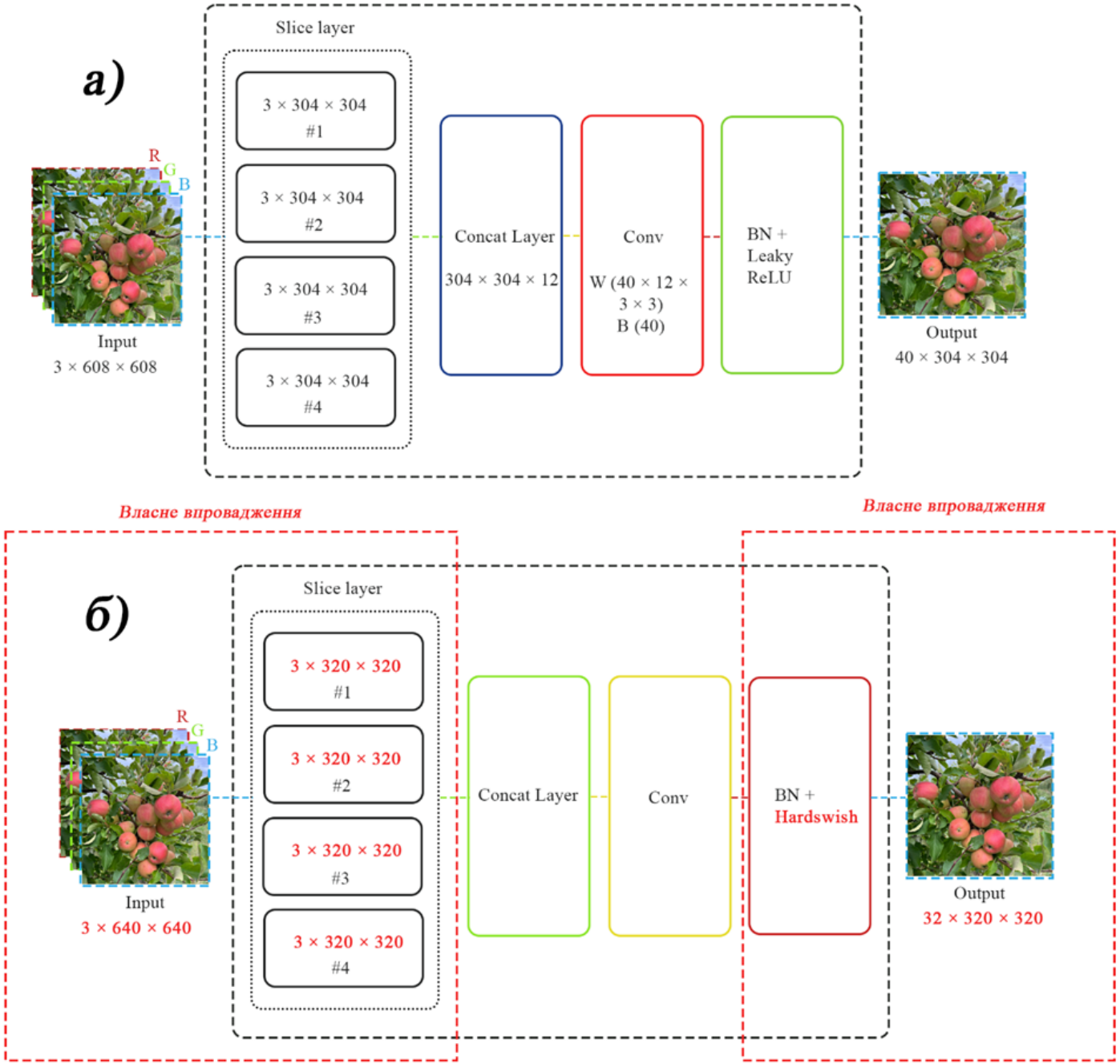
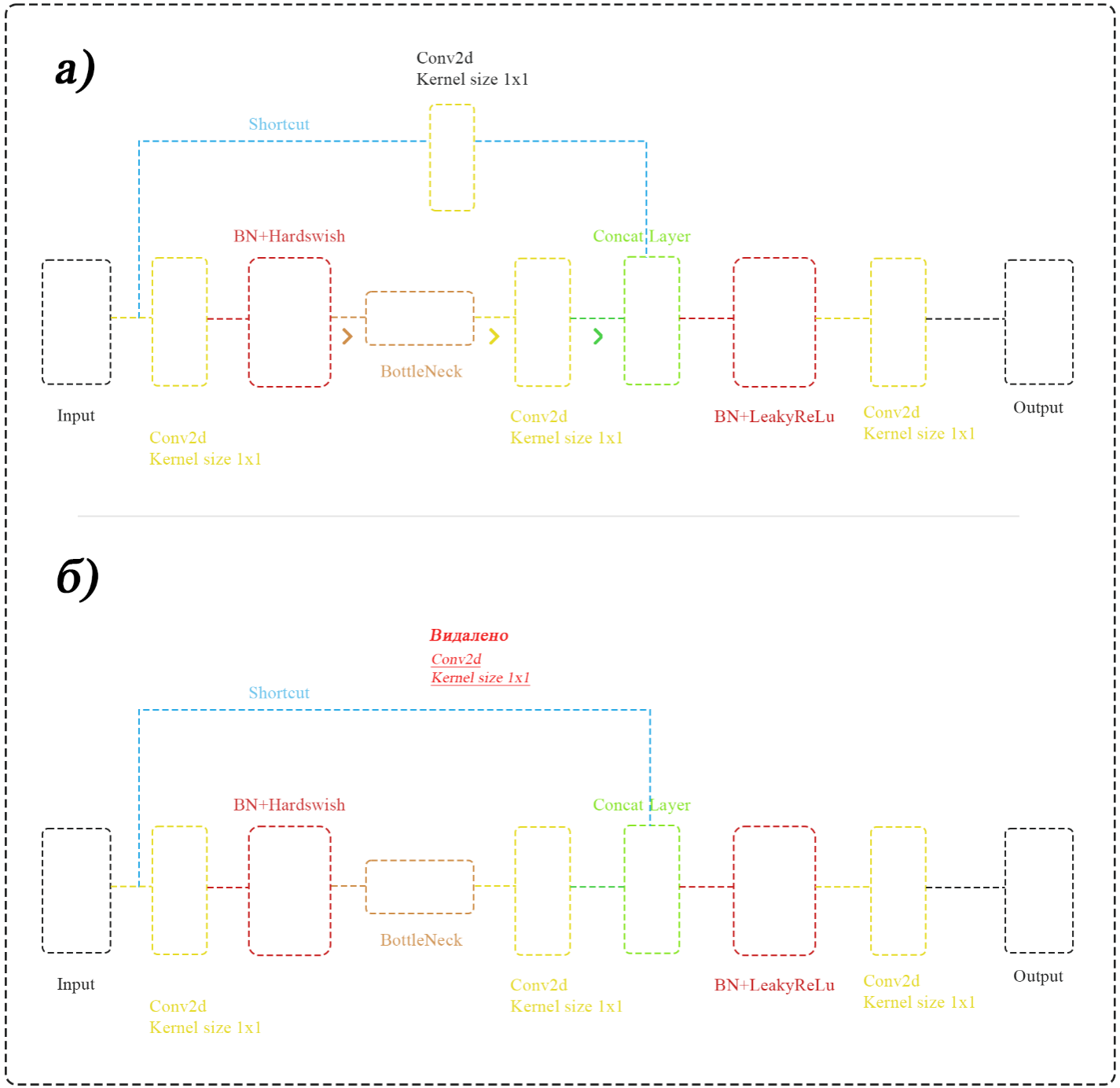


Схема модуля BottleneckCSPv1

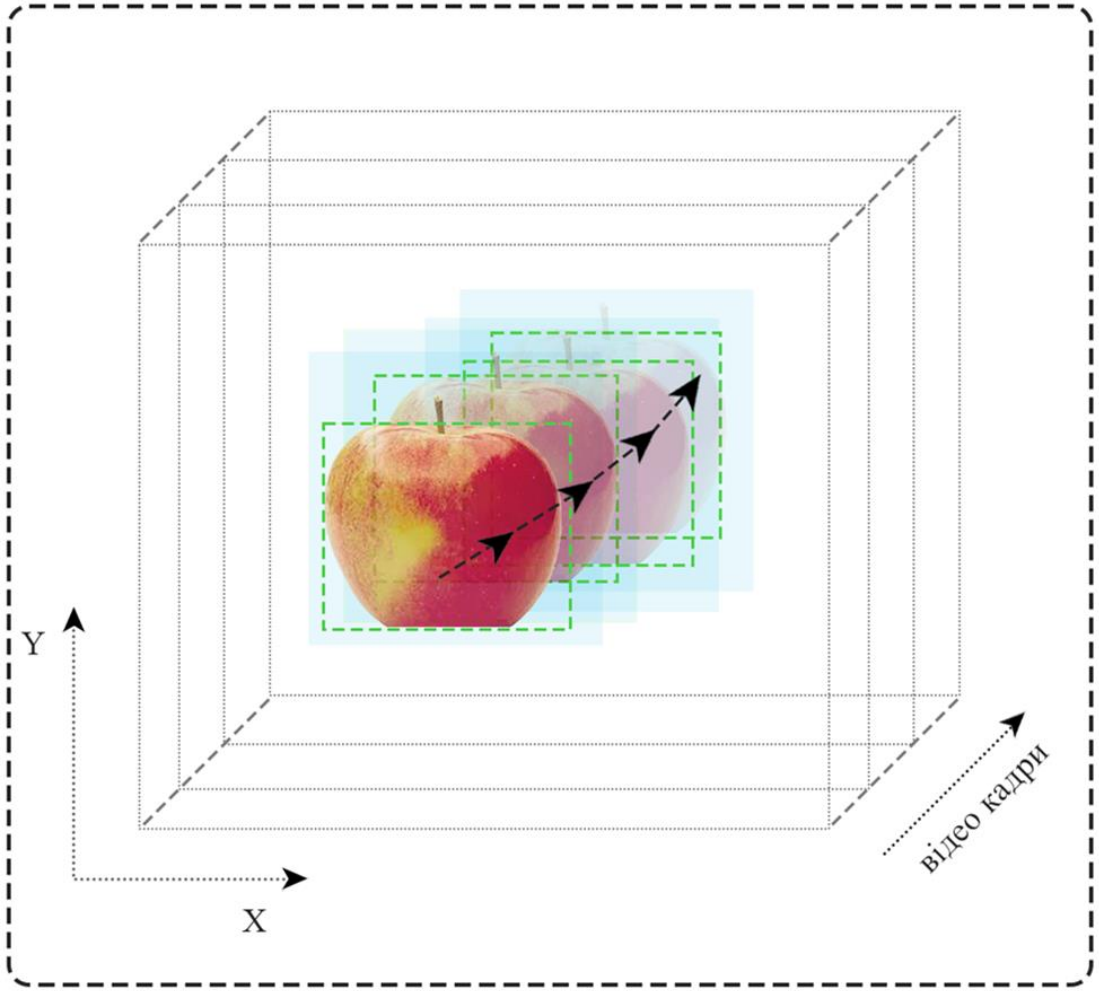


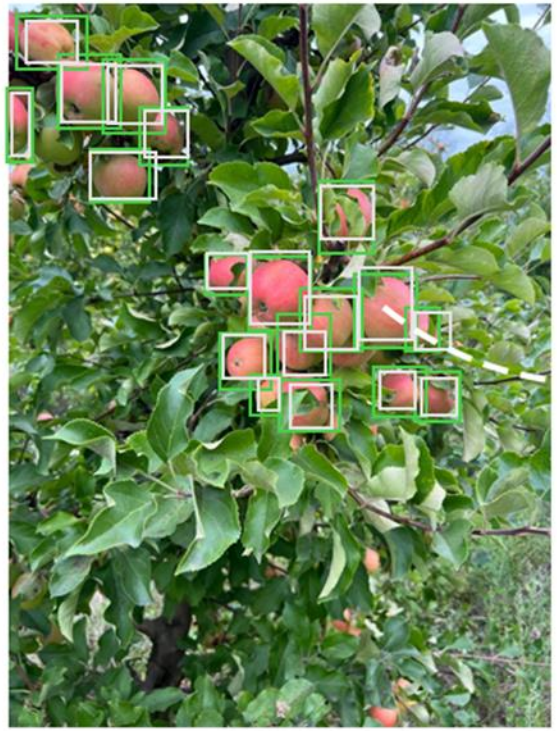
НН4

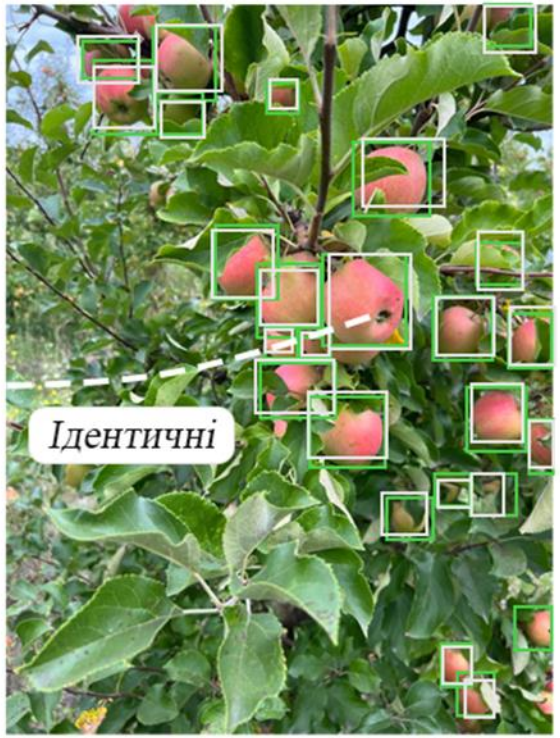
Спосіб обчислення кількості структурних об’єктів

НН4

Схема процесу відстеження структурного об’єкта

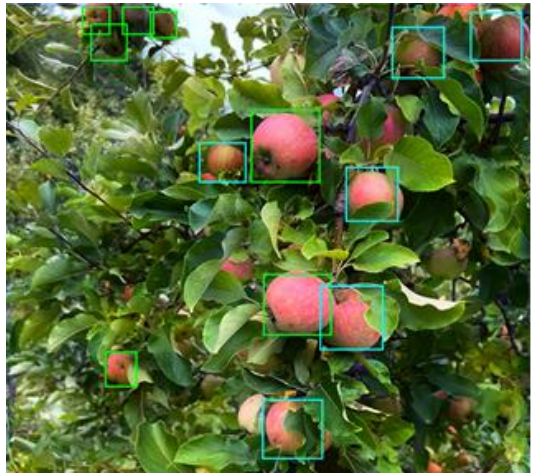
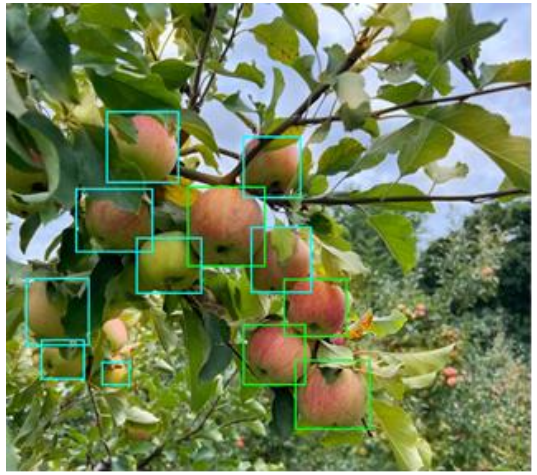






Результати навчання моделі виявлення об’єктів

Дані	Кількість об’єктів	Precision (%)	Recall (%)	mAP (%)	F_1 (%)
К-сть, яку можна захопити	1007	85,51	94,33	89,23	89,70
К-сть, яку не можна захопити	1329	82,56	89,32	84,87	85,81
Загалом	2336	83,83	91,48	86,75	87,49

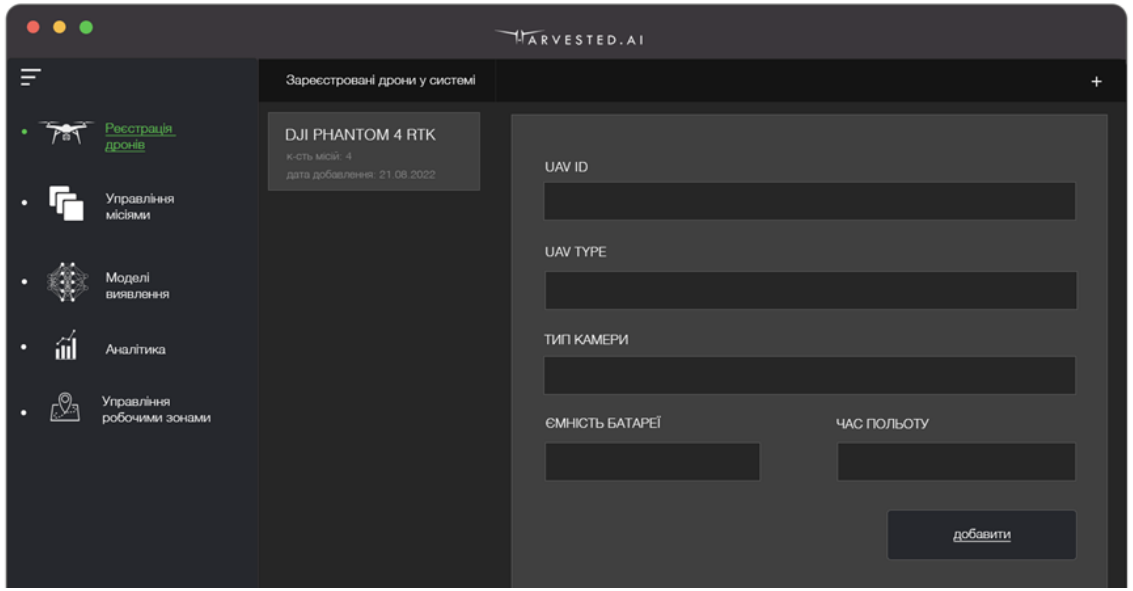
Результати розпізнавання фруктових плодів за допомогою вдосконаленої мережі YOLOv5-v1:
(а) Хмарно (б) Бічне сонячне світло (в) Підсвічування сонцем (г) Сонячний фронт

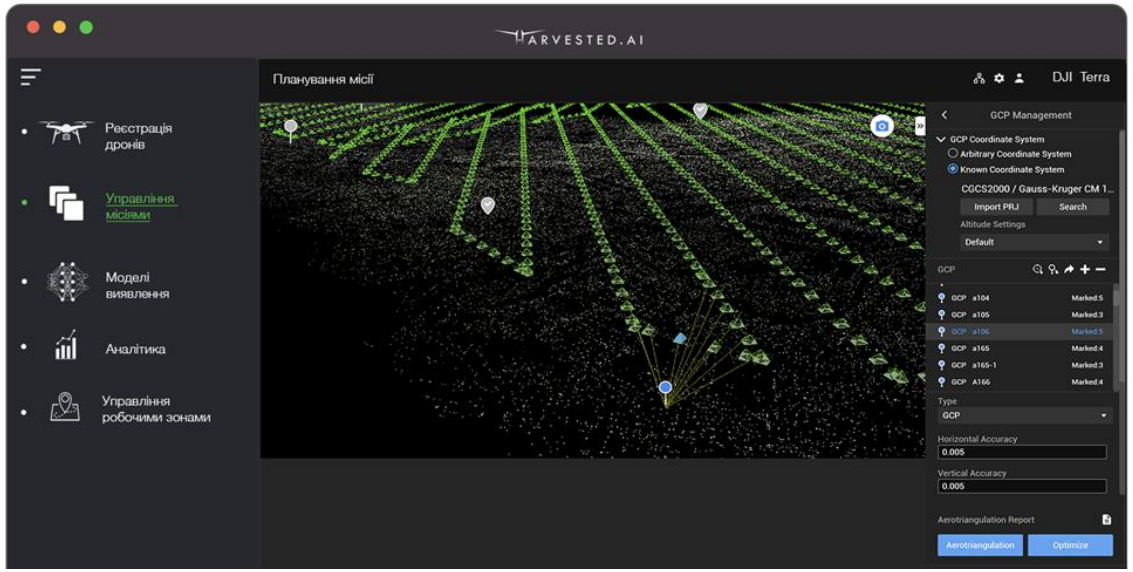
Результати порівняння алгоритмів виявлення

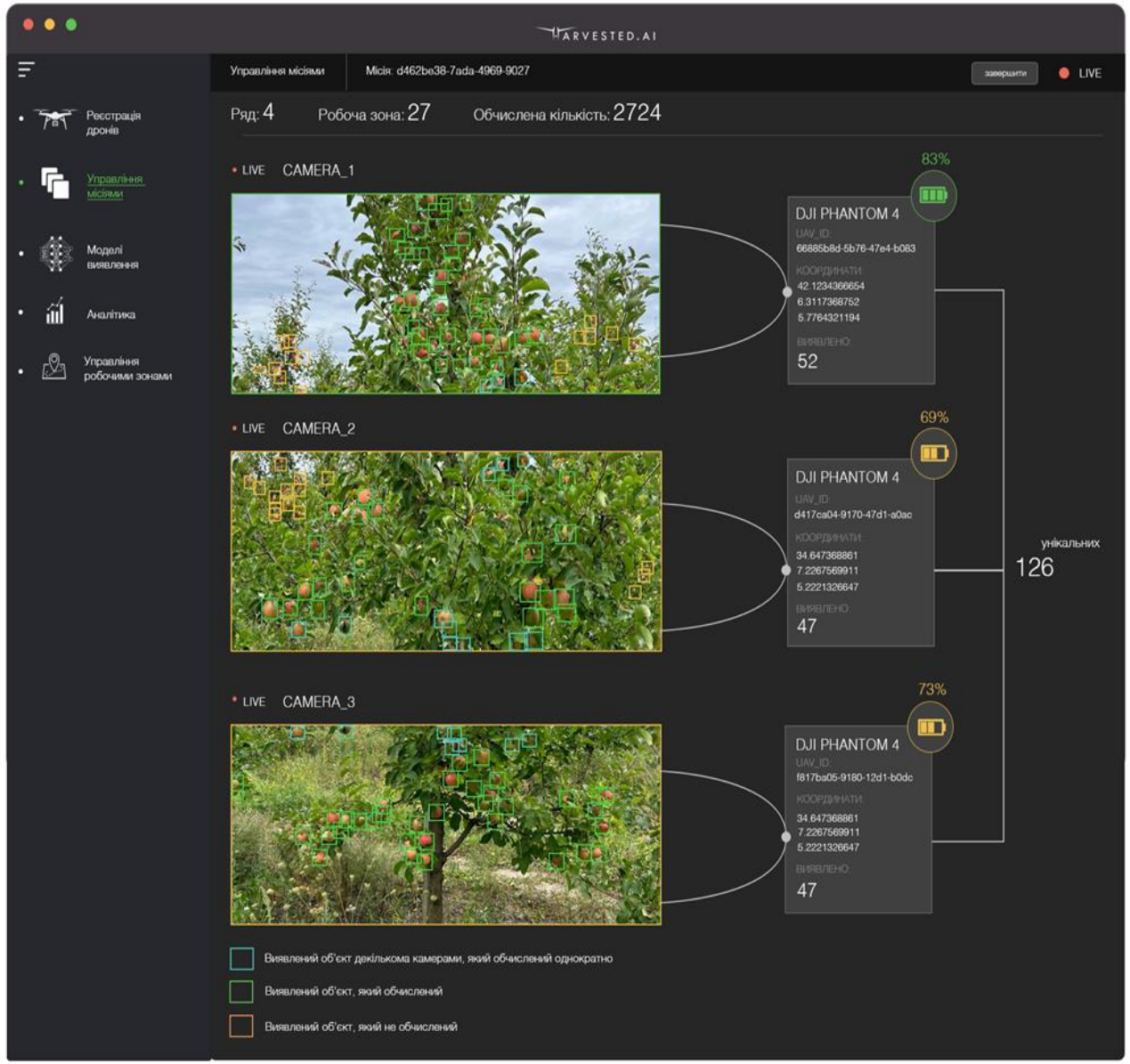
Удосконалену мережу YOLOv5-v1 порівняно з оригінальною мережею YOLOv5, YOLOv3, YOLOv4 та EfficientDet-D0 на 200 зображеннях тестового набору.

Мережі виявлення об’єктів	mAP (%)	Середня швидкість виявлення (сек/зоб)	Кількість параметрів	Розмір моделі (Мб)
YOLOv5	81,70	0,013	7,25×106	14,0
YOLOv3	71,80	0,053	6,15×107	235,0
YOLOv4	82,01	0,017	6,39×107	244,0
EfficientDet-D0	80,02	0,038	3,83×106	15,0
Запропонований метод виявлення	86,75	0,015	6,52×106	12,7

Програмне забезпечення автоматизованої системи







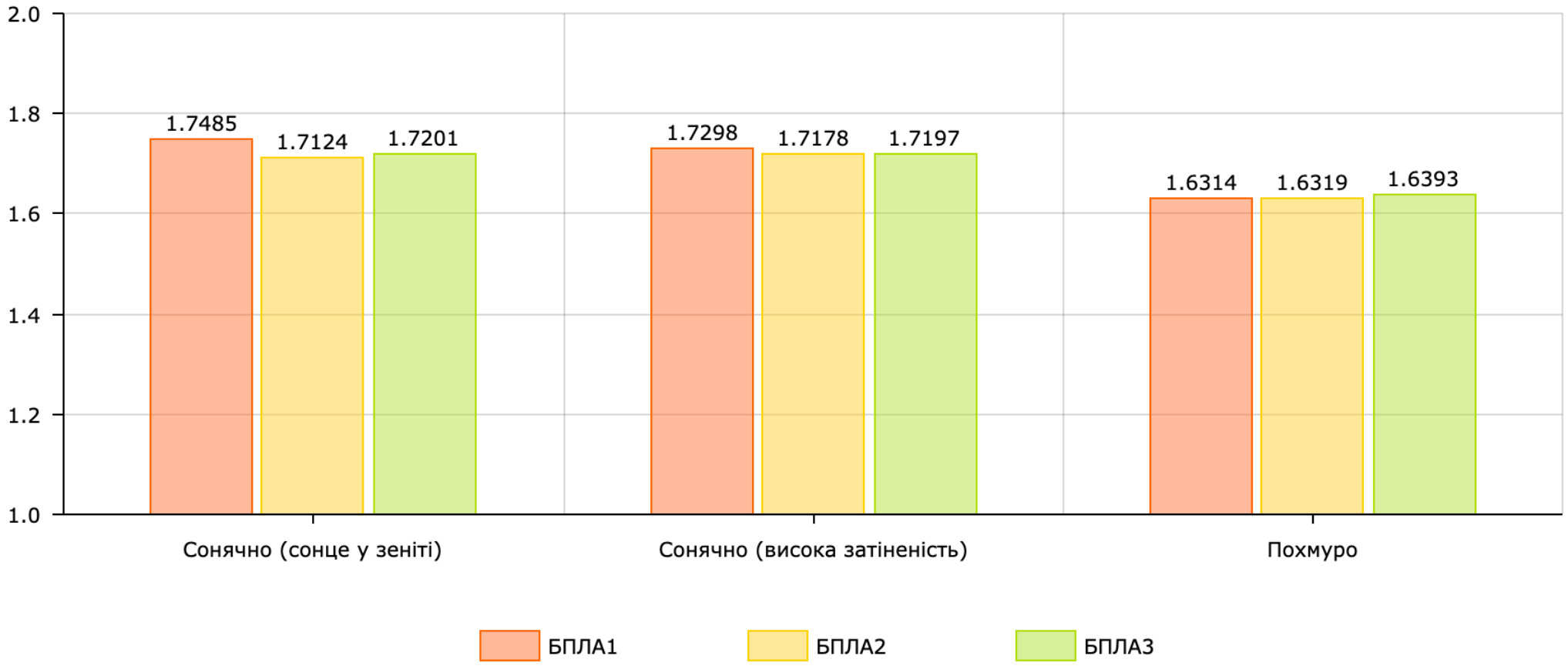
Експериментальне тестування розробленої автоматизованої системи

Результати експериментальних досліджень автоматизованої системи в розрізі методу планування маршрутів наведено в таблиці.

№	Апаратні пристрої	Час виконання робочої місії, хв	Час затримки, хв	Кількість технічних помилок	Екологічність, Вт	Загальна ефективність, E
Сонячно (сонце у зеніті)						
1	БПЛА 1	28,40	0,90	3	179,10	1,7485
2	БПЛА 2	27,18	0,13	0	168,00	1,7124
3	БПЛА 3	28,11	0,40	2	175,00	1,7201
Сонячно (висока затіненість)						
1	БПЛА 1	28,17	0,40	2	178,10	1,7298
2	БПЛА 2	27,60	0,13	1	178,00	1,7178
3	БПЛА 3	28,11	0,37	2	177,00	1,7197
Похмуро						
1	БПЛА 1	27,18	0,10	0	168,10	1,6314
2	БПЛА 2	27,18	0,13	0	168,11	1,6319
3	БПЛА 3	27,17	0,12	0	168,09	1,6393

Експериментальне тестування розробленої автоматизованої системи

Порівняння оцінок ефективності автоматично побудованих маршрутів для кожного БПЛА залежно від погодних умов.



Експериментальне тестування розробленої автоматизованої системи

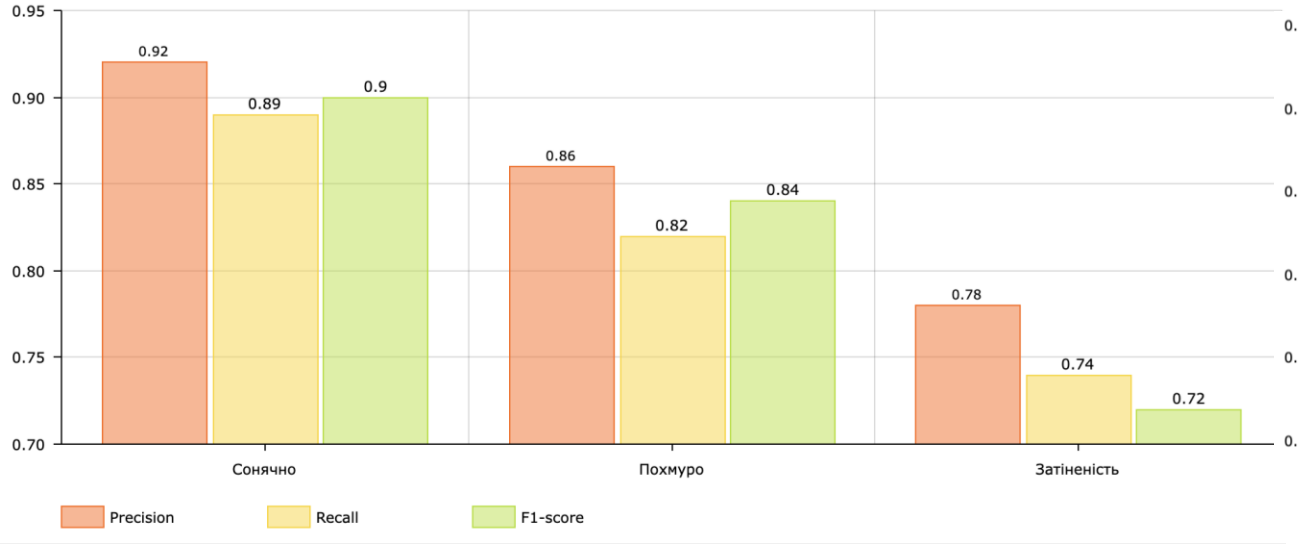
Результати експериментів автоматизованої системи щодо виявлення та обчислення кількості фруктових плодів.

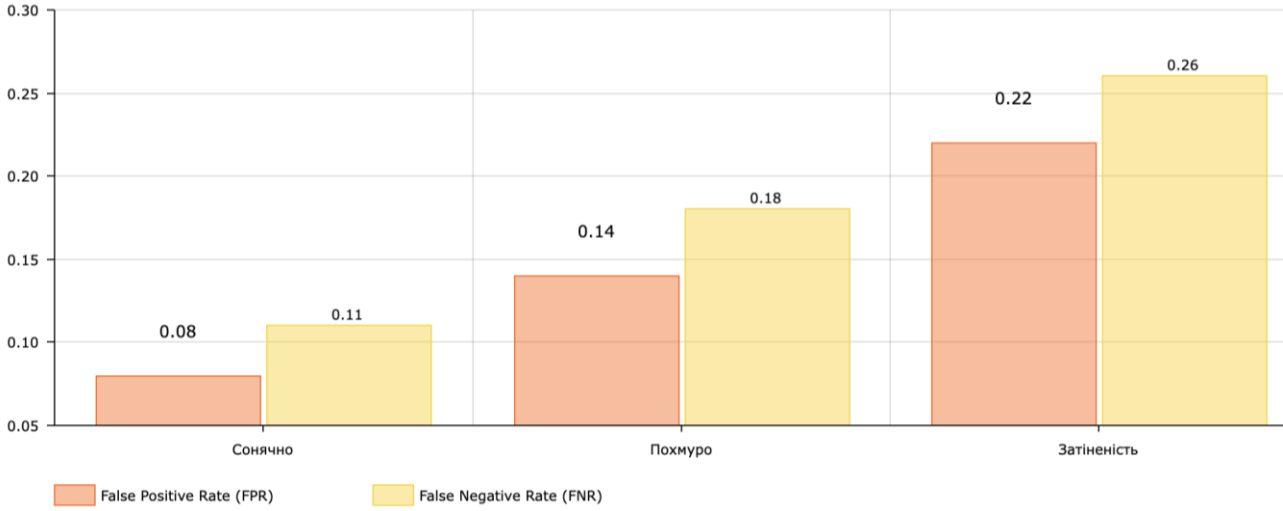
№	Погодні умови (затіненість)	Виявлено та обчислено, шт.	Виявлено, але не обчислено, шт.	Виявлено багатьма камерами, але обчислено одноразово, шт.	Всього, шт.
1	Сонце (зеніт)	147 382	72 143	5 743	~160 000
2	Похмуро	145 223	69 944	6 611	~160 000
3	Сонце (сильна)	132 304	69 336	8 442	~160 000

№	Погодні умови (затіненість)	Precision	Recall	F_1	Помилка I роду	Помилка II роду
1	Сонце (зеніт)	0,92	0,89	0,90	0,08	0,11
2	Похмуро	0,86	0,82	0,84	0,14	0,18
3	Сонце (сильна)	0,78	0,74	0,72	0,22	0,26

Експериментальне тестування розробленої автоматизованої системи

Порівняння системи за статистичними показниками, що оцінюють виявлення на обчислення кількості плодів.





Експериментальне тестування розробленої автоматизованої системи

Результати дослідження ефективності методу синхронізації відеопотоків, отриманих групою БПЛА.

Об’єднане зображення	SSIM	PSNR
1	0,90	35,20
2	0,45	27,22
3	0,72	37,50
4	0,85	29,11
5	0,87	36,90
6	0,91	39,10
7	0,86	31,43
8	0,47	27,87
9	0,90	30,12
10	0,83	31,54
11	0,52	28,91
12	0,86	30,36