

ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи

Триетапний метод сегментації зображень, сформованих для навігації мобільних роботів

Розробив: ст. гр. СПм 22-3

Беспалий А.В.

Керівник: Єр'оміна Н.С.

**Мета кваліфікаційної
роботи:** визначення
класифікаційних ознак об'єктів
поверхні візування та розробка
методу селекції об'єктів з
урахуванням об'єктової
насиченості

Таблиця 1 – Класифікація моделей ПВ за фоново-об'єктовим складом

Позначення ситуації	Характеристика ПВ
Φ_{01} – зображення ПВ з слабкою об'єктовою насиченістю та контрастністю (місцевизначення над ПВ з практично однорідним покривом)	$F_{O_1} \approx F_{\Phi_{01}}$, $V < 3...5$, $R_O \ll R_{\Phi}$.
Φ_{02} – ділянки ПВ з невеликою кількістю об'єктів природного та (або) штучного походження та достатнім контрастом	$F_{O_2} \neq F_{\Phi_{02}}$, $3...5 \leq V \leq 10...15$, $R_O < R_{\Phi}$.
Φ_{03} – зображення ПВ з високою об'єктовою насиченістю (ділянки ПВ з періодичною структурою, яка має високий рівень повторюваності, фон має ознаки об'єктів)	$F_{O_3} \rightarrow F_{\Phi_{03}}$, $10...15 < V$, $R_O \gg R_{\Phi}$.

3

Вихідні зображення з різним ФОС

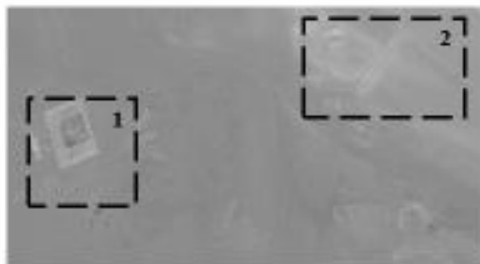


Рисунок 1 – Зображення ПВ з слабкою насиченістю

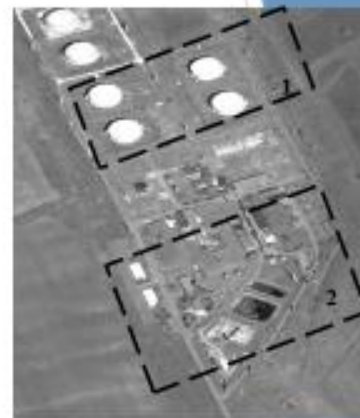


Рисунок 2 – Зображення ПВ з невеликою об'єктовою насиченістю



Рисунок 3 – Зображення ПВ з високою об'єктовою насиченістю

4

Результати оцінки ФР для ПВ з слабкою об'єктовою насиченістю

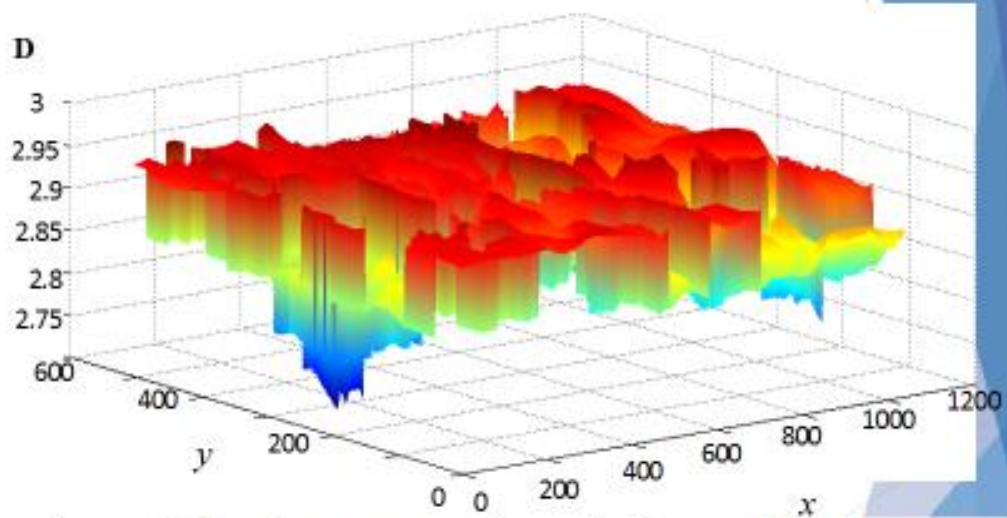


Рисунок 4 – Поле фрактальних розмірностей зображення ПВ, наведеного на рисунку 1

5

Нормована гістограма ПФР

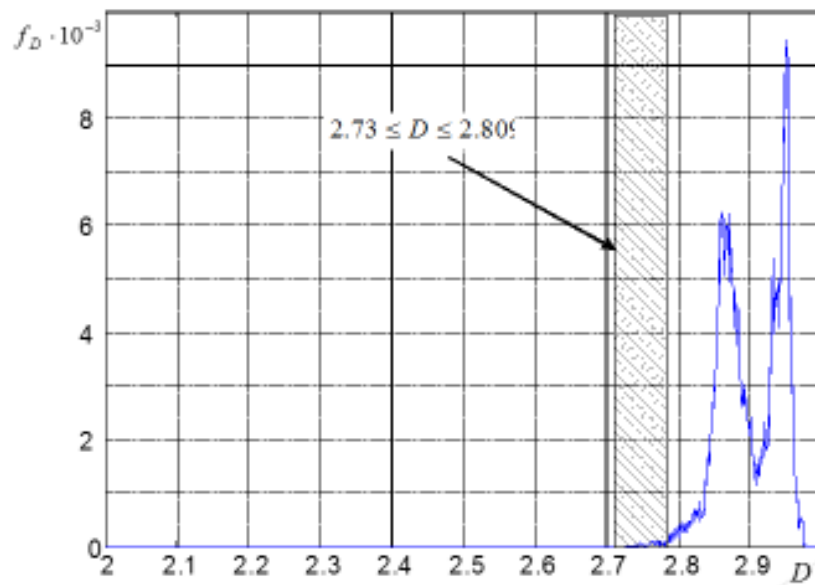


Рисунок 5 – Гістограма ПФР зображення з слабкою об'єктовою насиченістю (Φ_{01}) при $N = 40$

6

Гістограма ПФР

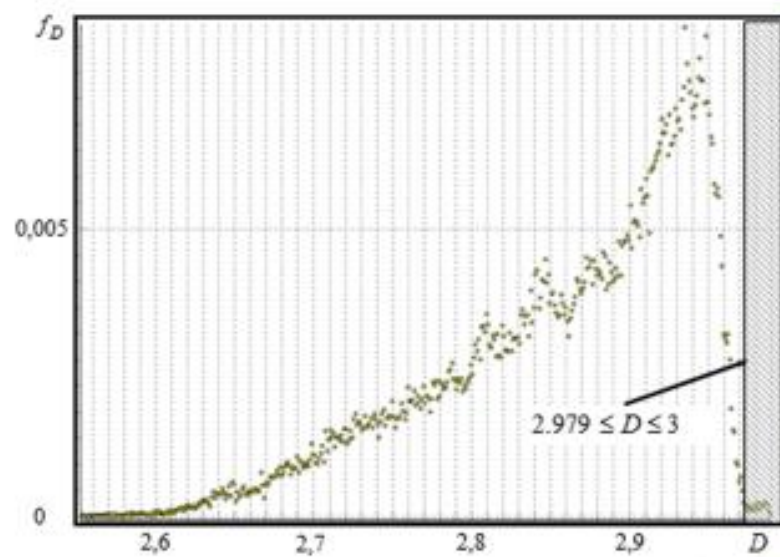


Рисунок 6 – Гістограма ПФР зображення з невеликою об'єктовою насиченістю (Φ_{02})

7

Селективне зображення ПВ



Рисунок 7 – Селективне зображення, яке відповідає рисунку 2

при $2,979 \leq D \leq 3$

8

Селективне зображення ПВ



Рисунок 8 – Селективне зображення, отримане для ділянки ПВ з високою об'єктовою насиченістю при $2.231 \leq D \leq 2.514$

9

Гістограма ПФР

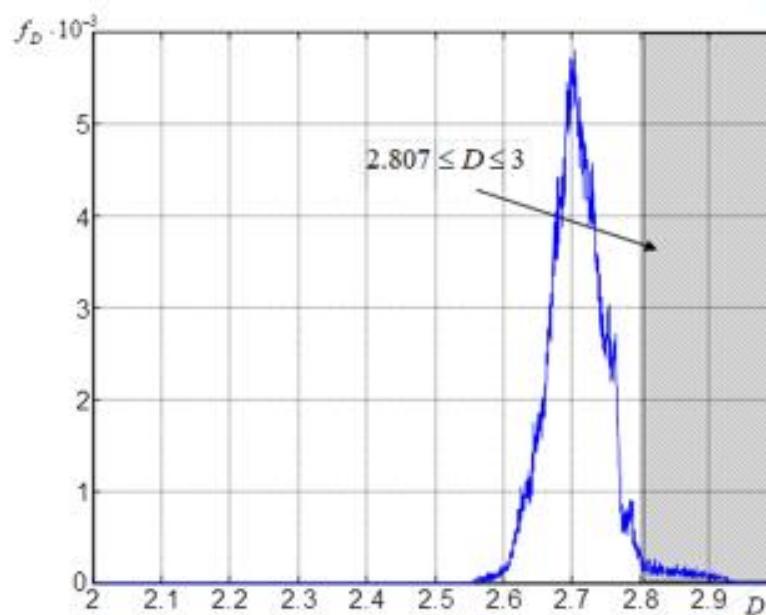


Рисунок 9 – Гістограма ПФР фарбованого зображення з достатньою об'єктовою насиченістю ($\Phi 02$) при $N=20$

10

Гістограма ПФР

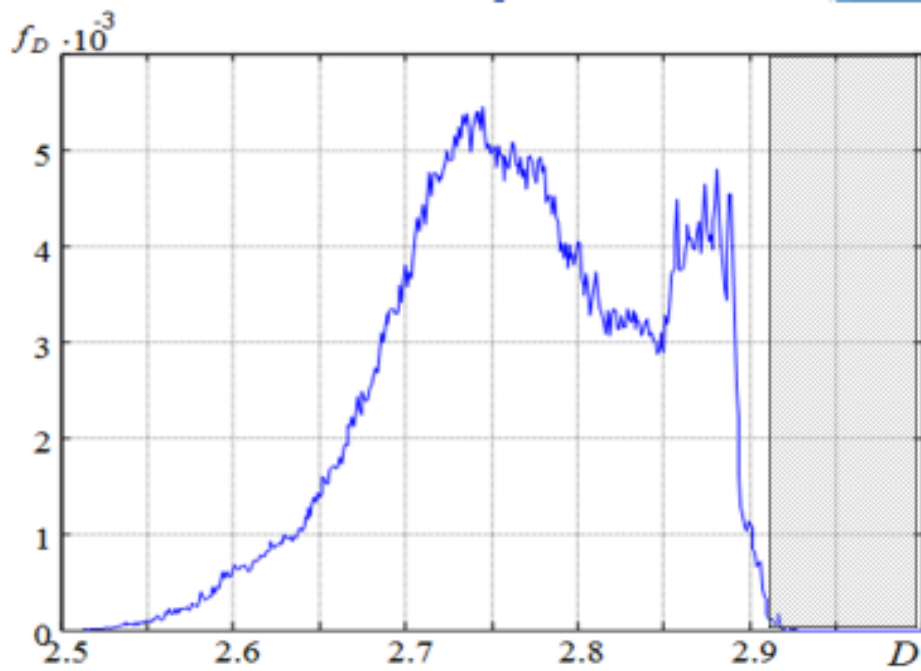


Рисунок 10 – Гістограма ПФР зображення (рисунок 3) після усунення надлишкової об'єктової насиченості при $2.92 \leq D \leq 3$

11

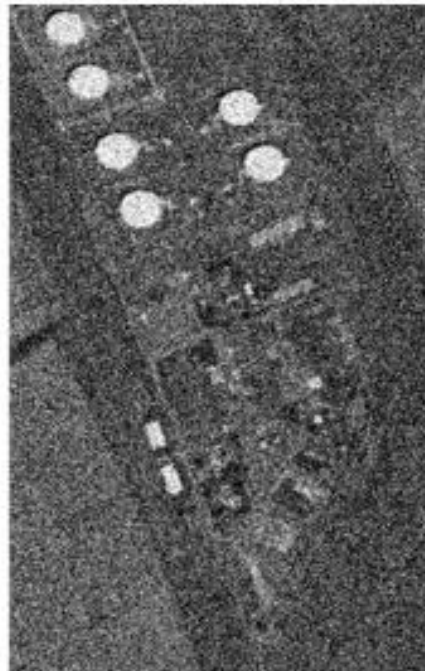


Рисунок 11 – Зображення нафтобази, фарбоване гаусівським шумом

12

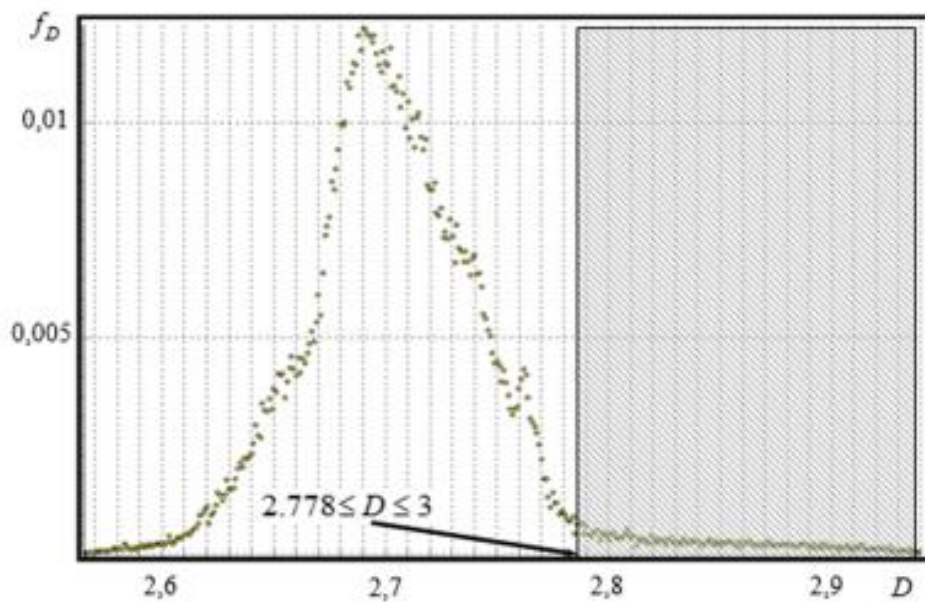


Рисунок 12 – Гістограма ПФР зображення з достатньою об'єктовою насиченістю Φ_{02}

13

Алгоритм селекції ОП

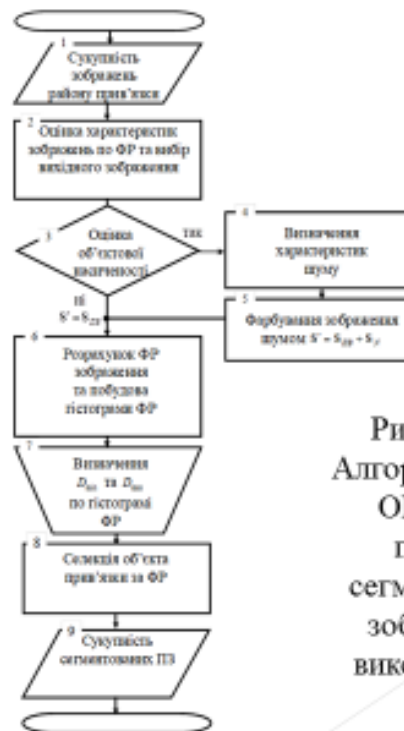


Рисунок 13 -
Алгоритм селекції
ОП шляхом
побудови
сегментованого
зображення з
використанням
ФР

14

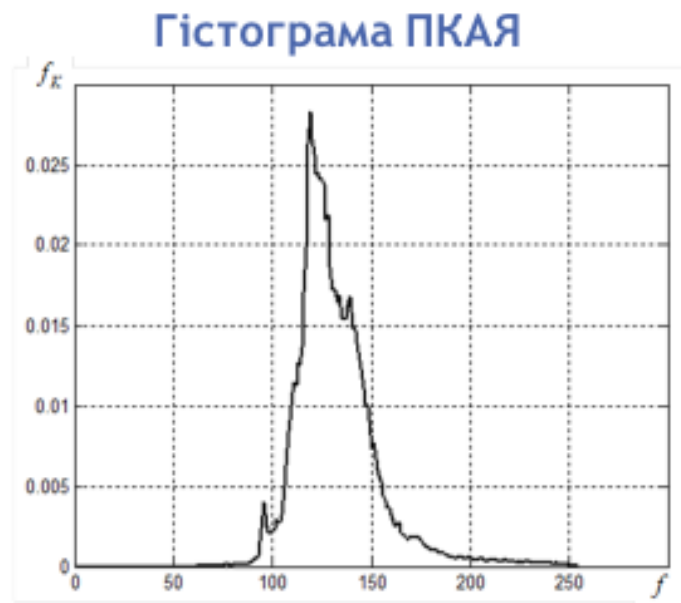


Рисунок 14 – Гістограма ПКЯЯ зображення ПВ з високою об'єктовою насиченістю

15

Алгоритм



Рисунок 15 – Алгоритм порівняння зображень

16

Формування ВФ

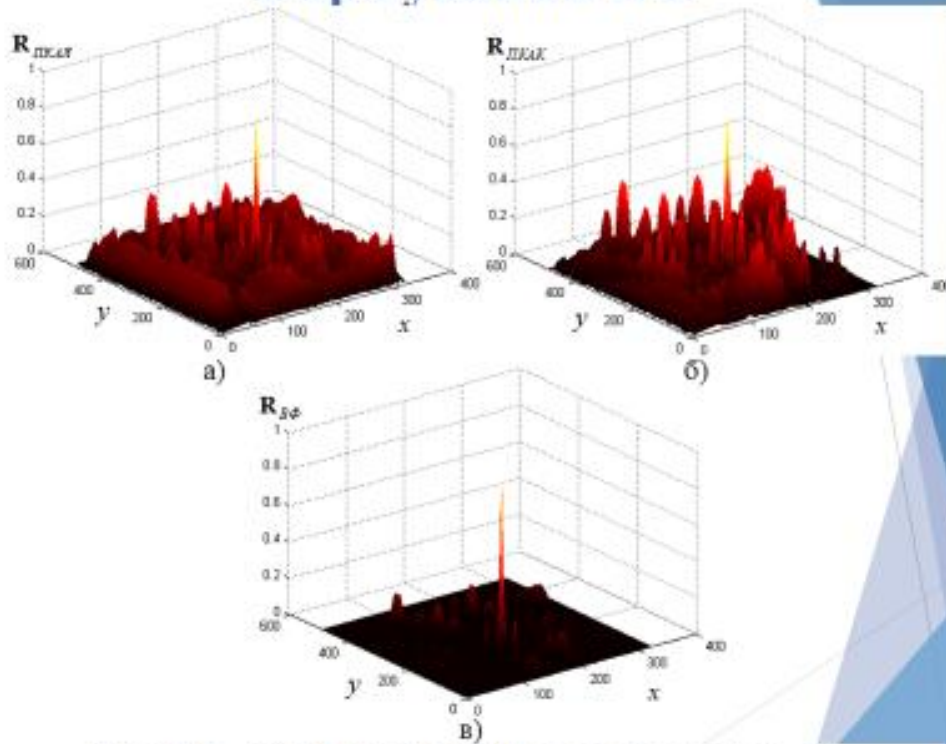


Рисунок 16 – ВФ, сформовані КЕСН по полям яскравості – (а), контрасту – (б) та сумісному полю – (в)

17

СТРУКТУРА ТРИЕТАПНОГО МЕТОДУ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ ЛЛЯ ЗЛІЙСНЕННЯ СЕЛЕКЦІЇ ОП



Рисунок 17 –
Структура
триетапного
методу
сегментації

18

Результати порівняння обчислювальної складності селекції об'єкта на зображенні при використанні різних інформаційних ознак

При використанні ФР в якості ІО число операцій визначається відповідно до наступного виразу:

$$N_{\text{ФР}} = 2\kappa(L_1 - \kappa)(L_2 - \kappa)$$

де $\kappa = 2^{(m-1)}$ – розмір ЕЗ.

Здійснили чисельну оцінку числа операцій при використанні ФР.

Було припущено, що для прив'язки використовується зображення ПВ, що має високе об'єктове наповнення. Розмір ЕЗ складає $L_1L_2 = \kappa = 25$.

В такому випадку число операцій буде $N_{\text{ФР}} \approx 10^7$.

При використанні класичного кореляційного алгоритму число операцій буде не менш, ніж $N_{\text{ККА}} > 10^{15}$.

Таким чином, використання в якості ІО фрактальної розмірності значно зменшує число операцій для здійснення селекції ОП.

Відносне зменшення числа операцій можна розрахувати відповідно до наступного виразу:

$$\frac{N_{\text{ФР}}}{N_{\text{ККА}}} = \frac{2(L_1 - \kappa)(L_2 - \kappa)}{k^2 L_1 L_2 (L_1 - \kappa)(L_2 - \kappa)} = \frac{2}{k L_1 L_2}$$

Для розглянутих вище умов зменшення числа операцій при застосуванні ФР буде складати порядку 10^8 .

Результати досліджень опубліковані в журналі «Системи управління, навігації та зв'язку», 2024, No2, с. 82 – 86.

Висновки

1. Здійснено аналіз методів та алгоритмів селекції об'єктів на селектованих зображеннях. Встановлено, що існуючі методи та алгоритми неможливо безпосередньо застосовувати для здійснення навігації МР, що оснащені КЕСН.

2. Здійснено класифікацію ПВ за кількістю об'єктів та обґрунтовано вибір типів інформативних ознак для здійснення селекції об'єктів на зображеннях ПВ.

3. Проведено аналіз використання окремих інформаційних ознак для здійснення селекції об'єктів на зображеннях, які відрізняються чисельністю різних об'єктів на ПВ.

4. Запропоновано використовувати для сегментації зображень з метою забезпечення високої ймовірності селекції ОП на зображенні в різних умовах таких ознак об'єктів, як фрактальну розмірність, яскравість та контраст.

5. Досліджено інформативні ознаки зображень ПВ. Встановлена можливість застосування в якості ІО об'єктів фрактальної розмірності та яскравості.

Висновки

6. Шляхом моделювання встановлено, що результати селекції об'єктів за яскравістю та контрастом є близькими до результатів селекції за ФР.

7. Показано, що точність місцевизначення при використанні ІО у вигляді яскравості зростає від 1.3 до 1.5 разів для зображень ПВ з незначною кількістю об'єктів. Для ПВ з високим наповненням точність зростає до 2 разів.

8. Ймовірність прив'язки КЕСН складає біля одиниці, але в залежності від величини шуму, який складає від $\sigma_{\text{шум}} = 75 \dots 80$ до $\sigma_{\text{шум}} \approx 20$, швидкість зростання вище при використанні в якості ІО яскравості.

ДОДАТОК Б

Аналіз узагальненої моделі зображення поверхні візування за кількістю
об'єктів, селекція об'єктів на зображеннях

Б.1 Аналіз узагальненої моделі зображення поверхні візування за кількістю об'єктів

У першому наближенні ПВ з низькою об'єктовою насиченістю повинна мати не менше 2 характерних ділянок (об'єктів) по яким може бути здійснена прив'язка КЕСН з заданими показниками якості. Однак, як буде показано далі, необхідність використання геометричних ознак розташування об'єктів прив'язки на ПВ, ділянки місцевості з низькою об'єктовою насиченістю повинні мати не менше трьох об'єктів.

У роботі [6] на основі статистичного аналізу якості прив'язки КЕСН на ПВ з різним ОС визначені нижня та верхня межі кількості об'єктів на ПВ, при яких ОС можна вважати достатнім. Так нижня межа кількості об'єктів прив'язки складає $V_{\min} = 3...5$, а верхня – $V_{\max} = 10...15$.

Таким чином, для класифікації ПВ за об'єктовою насиченістю у загальному вигляді, а також забезпечення працездатності ряду методів машинного аналізу зображень ПВ доцільно розглядати окремо зображення з низькою (недостатньою) – $V < V_{\min}$, середньою (достатньою) – $V_{\min} \leq V \leq V_{\max}$ та високою (надлишковою) об'єктовою насиченістю $V_{\max} < V$. Для подальшого опису вихідну інформацію про ПВ будемо позначати множиною Φ_0 , тоді, відповідно до обґрунтованої класифікації ПВ за кількістю об'єктів, ділянки з низькою об'єктовою насиченістю будемо позначати підмножиною Φ_{01} , ділянки з середньою об'єктовою насиченістю – підмножиною Φ_{02} та ділянки з високою об'єктовою насиченістю – підмножиною Φ_{03} .

Зазначена класифікація зображень ПВ проведена у припущенні, що за час між одержанням зображення і застосуванням МР місцевість не змінилася, погодні умови сприятливі не вносять спотворень.

Таблиця Б.1 – Класифікація моделей ПВ за фоново-об'єктовим складом

Позначення ситуації	Характеристика ПВ
Φ_{01} – зображення ПВ з слабкою об'єктовою насиченістю та контрастністю (місцевизначення над ПВ з практично однорідним покривом)	$F_{O_v} \approx F_{\Phi_w}$, $V < 3..5$, $R_O \ll R_{\Phi}$.
Φ_{02} – зображення ПВ з невеликою кількістю об'єктів природного та (або) штучного походження та достатнім контрастом	$F_{O_v} \neq F_{\Phi_w}$, $3..5 \leq V \leq 10..15$, $R_O < R_{\Phi}$.
Φ_{03} – ПВ з періодичною структурою, яка має високий рівень повторюваності, фон має ознаки об'єктів)	$F_{O_v} \rightarrow F_{\Phi_w}$, $10..15 < V$, $R_O \gg R_{\Phi}$.

Введення у розгляд підмножин Φ_{01} , Φ_{02} , Φ_{03} , дозволяє класифікувати модель опису ПВ за об'єктовою насиченістю, де:

- Φ_{01} характеризує місцевість з невеликою кількістю об'єктів ($V < V_{\min}$), яка до того ж може характеризуватися слабкими перепадами яскравості (контрасту) на межі переходу від фонів до об'єктів ($F_{O_v} \approx F_{\Phi_w}$), що у більшості випадків обумовлено природними властивостями місцевості;

- Φ_{02} характеризує місцевість з невеликою об'єктовою насиченістю та достатнім контрастом;

- Φ_{03} характеризує місцевість з високою об'єктовою насиченістю, якій властива велика щільність об'єктів та повторюваність структури. Це обумовлює необхідність віднесення частини об'єктів до фонових складових при виборі ділянок ПВ, придатних для здійснення прив'язки КЕСН.

На рисунках Б.1, Б.2 показані варіанти неспотворених та спотворених зображень ПВ при впливі природних спотворюючих факторів .



Рисунок Б.1 – Зображення ПВ при відсутності (Φ_{02}) – (а) та при сезонних локальних змінах $G_{22}(\Phi_{02})$ – (б) із Google Earth

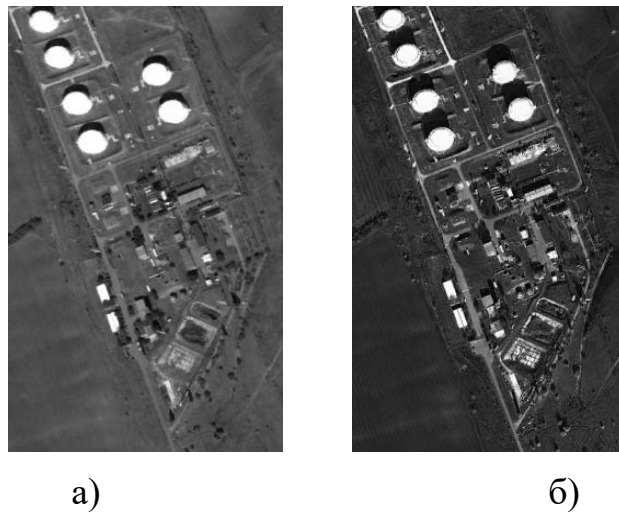


Рисунок Б.2 – Зображення ПВ у різний час доби $G_{21}(\Phi_{02})$ – (а, б) із Google Earth

Представлена класифікація є основою для опису ПВ та може бути використана для опису зображень, що формуються КЕСН, розробки методів селекції об'єктів прив'язки на зображеннях ПВ з різним ОС.

Б.2 Селекція об'єктів на зображеннях за допомогою інформаційної ознаки фрактальних розмірностей

В якості параметрів, що характеризують властивості інформативних ознак (ІО) зображень, що формуються КЕСН доцільно використовувати структурні та яскравісні ознаки.

Структурні ознаки зображень ПВ можна описуват за допомогою фрактальної розмірності (ФР), а саме зображення, кожен елемент якого характеризує топологію ділянок ПВ, можна розглядати у вигляді поля фрактальних розмірностей.

При обчисленні ФР, яка у даному випадку виступає у якості оцінюваного параметра ІО будемо застосовувати метод покриття, для якого ФР визначається у відповідності до виразу:

$$D = [\lg C - \lg N(\chi)] / \lg \chi, \quad (\text{Б.1})$$

де C – константа;

χ – крок вимірювання або розмір ковзного вікна;

$N(\chi)$ – мінімальна кількість кубів зі стороною χ , для покриття зображення $S_{ПВ}$.

Для пошуку значень $\lg C$ та D у виразі (Б.1) використовується метод найменших квадратів, у відповідності до якого необхідно знайти рівняння прямої:

$$y = \lg C + Dx, \quad (\text{Б.2})$$

яка найкращим чином узгоджується з точками, одержаними у середині ковзного вікна, отож за наявним набором x_i та y_i необхідно визначити

найкращі значення $\lg C$ та D , які знаходяться з рішення системи рівнянь:

$$D = \frac{\sum_{g=1}^n [(x_g - \bar{x}) \cdot y_g]}{\sum_{g=1}^n (x_g - \bar{x})^2}, \quad (\text{Б.3})$$

$$\lg C = \bar{y} - D \cdot \bar{x}, \quad (\text{Б.4})$$

де $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{g=1}^n x_g$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{g=1}^n y_g$ – середні значення;

n – кількість точок прямої, одержаних за методом найменших квадратів.

З урахування зміни положення ковзного вікна, координати якого позначимо через (i, j) для кожного зсуву ковзного вікна відносно початку координат вихідного зображення ПВ, одержане значення ФР позначимо через $D(i, j)$. З урахуванням цього, поле фрактальних розмірностей буде складатися з $D(i, j)$ та описуватися співвідношенням:

$$\mathbf{D} = \|D(i, j)\|, \quad (\text{Б.5})$$

де $i = 1 \dots M_1 - \chi$, $j = 1 \dots M_2 - \chi$.

Якщо розмір ковзного вікна визначати так само, як і при побудові полів кореляційного аналізу, тобто мінімальний розмір ковзного вікна N_{\min} обирається таким, щоб виключити появу помилкових викидів КВК, обумовлених наявністю нестационарних (мобільних) об'єктів на ПВ (легкові, вантажні автомобілі), об'єктів приватної забудови (дачні селища, приватні будинки та інше), які мають періодичну структуру, зміни умов спостереження об'єктів ПВ (зміна положення, форми та розмірів тіней від

об'єктів). За результатами статистичного моделювання визначено, що мінімальний розмір ковзного вікна доцільно визначати виходячи з умови:

$$(2 \dots 2.5)N_{об} \leq N_{\min}, \quad (\text{Б.6})$$

де $N_{об}$ – максимальний лінійний розмір об'єктів у пікселях, то $i = 1 \dots M_1 - N, j = 1 \dots M_2 - N$.

Виділення областей зображень ПВ, придатних для прив'язки КЕСН, полягає у пошуку значень ПФР, які мають найбільшу відміну від фонових складових та задовольняють умові $D_{\min} \leq D \leq D_{\max}$, де D_{\min} та D_{\max} визначають заданий діапазон ФР. З точки зору виділення об'єктів прив'язки на ПВ цікавість представляють хвости гістограми ПФР ($f_D(D)$) [18]. У цьому випадку об'єкти (ділянки) прив'язки, які відповідають умові $D_{\min} \leq D \leq D_{\max}$, характеризуються найбільшими відмінами топологічного складу від ділянок фонових складових. Для типового ОС поверхні візування, який відповідає підмножині Φ_{01} кількість областей з унікальною топологією ПВ, що відповідають умові $D_{\min} \leq D \leq D_{\max}$ та придатні для прив'язки КЕСН приблизно співпадає з кількістю об'єктів прив'язки згідно з таблиці Б.1.

Разом з тим результати математичного моделювання одержані для великої кількості зображень ПВ, які за ОС відповідають підмножинам Φ_{02} , Φ_{03} показали, що виділення об'єктів прив'язки, які найбільше відрізняються від фонових складових, характеризується невизначеністю, обумовленою чутливістю ФР до об'єктового складу зображення ПВ та потребує застосування спеціальних підходів щодо попередньої обробки зображень ПВ. Такі підходи можуть бути визначені на основі оцінок параметрів П, проведених для ділянок ПВ з різним типовим ОС та порівняння одержаних результатів фрактального аналізу з результатами кореляційного аналізу параметрів Ю ділянок ПВ.