

УДК 528.7+514.1

Д.В. СУЩЕВСЬКИЙ
Дніпропетровський національний університет**ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАДІЄНТНИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ
ВИЯВЛЕННЯ КОНТУРІВ ОБ'ЄКТІВ НА ЦИФРОВИХ СУПУТНИКОВИХ
ЗОБРАЖЕННЯХ ВИСОКОГО ПРОСТОРОВОГО РОЗРІЗНЕННЯ**

Було реалізовано методику визначення оптимальних параметрів градієнтної фільтрації для виявлення контурів об'єктів штучного походження. Розроблено програмний модуль з графічним інтерфейсом для візуального контролю та порівняльного аналізу результатів роботи різних операторів. Було розроблено кількісну характеристику для оцінки якості виявлення контурів. Здійснено класифікацію зображень відповідно до відносної кількості штучних об'єктів на зображенні. За результатами дослідження було одержано оптимальні параметри фільтрації для кожного класу зображень.

Ключові слова: контур об'єкту, градієнтний фільтр, цифрове супутникове зображення, виявлення об'єктів штучного походження.

Д.В. СУЩЕВСКИЙ
Днепропетровский национальный университет**ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРАДИЕНТНЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ
КОНТУРОВ ОБЪЕКТОВ НА ЦИФРОВЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ВЫСОКОГО
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

Была реализована методика определения оптимальных параметров градиентной фильтрации для обнаружения контуров объектов искусственного происхождения. Разработан программный модуль с графическим интерфейсом для визуального контроля и сравнительного анализа результатов работы разных операторов. Был разработан алгоритм расчета количественной характеристики для оценки качества обнаружения контуров. Была осуществлена классификация изображений в соответствии с относительным количеством искусственных объектов на изображении. По результатам исследования были получены оптимальные параметры фильтрации для каждого класса изображений.

Ключевые слова: контур объекта, градиентный фильтр, цифровое спутниковое изображение, обнаружение объектов искусственного происхождения.

D.V. SUSHCHEVS'KYY
Dnipropetrovsk National University**SEARCHING FOR OPTIMAL PARAMETERS OF GRADIENT FILTERS TO LOCATE MAN-MADE
OBJECTS' BOUNDARIES ON HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES**

The paper is devoted to man-made objects recognition. The method of optimal gradient filters characteristics' definition was developed to precisely locate object boundaries. The software module, which includes user interface, was developed using MATLAB environment. The software uses optimization functions to calculate the best parameters of different gradient filters for the particular image. The optimization was made based on the maximization of quality assessment function, which was also developed during the research. All images used during the research were divided into the categories based on the amount of man-made objects located on the image. The analysis was made using the software and as a result, the best characteristics for each filter and each image categories were defined.

Keywords: object boundary, gradient filter, digital satellite image, man-made objects recognition.

Постановка проблеми

Виявлення штучних об'єктів земної поверхні тісно пов'язане з багатьма прикладними задачами охорони навколишнього середовища, екологічної безпеки, оперативного моніторингу міських забудов, оцінки збитків і наслідків, спричинених стихійними лихами (наприклад, в результаті землетрусу) чи діяльністю людства. В останній час суттєво розширилися можливості отримання інформації про земну поверхню засобами дистанційного зондування. Зросла кількість аерокосмічних апаратів, призначених для зйомки земної поверхні в різних зонах електромагнітного спектру, з різним розрізненням на місцевості, смугою огляду, періодом зйомки заданих ділянок. Стали доступними як в економічному, так і в організаційно-технічному плані знімки високого та надвисокого розрізнення. Але, не зважаючи на суттєві досягнення в області обробки цифрових фотографічних зображень, їх автоматизоване дешифрування реалізоване лише для вузького класу об'єктів і досі є складною та неоднозначно вирішуваною задачею. Це

пояснюється великою кількістю різноманітних факторів, що впливають на процес отримання зображення об'єктів. Окрім факторів зйомки, на якість дешифрування впливає також характер самої місцевості, зокрема тип будівель, їх щільність на знімку, а також контраст з природним фоном. Саме зміна контрасту у більшості випадків є ключовим фактором при виявленні контурів об'єктів на зображенні.

Аналіз останніх досліджень

Дослідженнями психологів встановлено, що з точки зору розпізнавання й аналізу об'єктів на зображенні найбільш інформативними є не значення яскравостей об'єктів, а характеристики їх контурів. Контуром зображення прийнято називати сукупність його пікселів, в околиці яких спостерігається стрибкоподібна зміна функції яскравості. При цифровій обробці зображень контури подаються лініями шириною мінімум в один піксель. За останні 30 років розроблено багато операторів розпізнавання границь. Особливе місце серед них займають градієнтні оператори розпізнавання границь перепадів яскравостей: Робертса, Кенні, Собеля, Прюїтт [1]. Було показано, що фільтри на основі саме градієнтних операторів дають стабільні результати як на чітких, так і на малоконтрастних зображеннях забудовлі земної поверхні, але спостерігається значна їх варіація в залежності від перелічених вище факторів та, що є більш важливим, від параметрів самих фільтрів.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Визначення оптимальних параметрів градієнтних фільтрів є складною оптимізаційною задачею, що потребує долучення нелінійних математичних функцій. Більшість необхідних функцій вже реалізовано у відповідних пакетах середовища MATLAB (Image Processing Toolbox, Optimization Toolbox), де крім програмування самого алгоритму існує можливість створення графічного інтерфейсу для контролю та аналізу результатів. Для вирішення даної задачі необхідно визначити критерії, за якими здійснюватиметься оптимізація, що також є частиною даного дослідження. Оскільки неможливо визначити конкретний набір параметрів, що однаково добре працюватиме з будь-якими зображеннями, необхідно звзвити коло досліджуваних зображень шляхом поділу їх на класифікаційні групи і пошуку оптимального рішення у межах кожної з груп, використовуючи програмне забезпечення, що розроблюється, як засіб дослідження.

Вкладення основного матеріалу дослідження

Роботу градієнтних операторів засновано на одній з базових властивостей сигналу яскравості – розривності. Найбільш загальним засобом пошуку розриву є обробка зображення з використанням ковзної маски, що називається фільтром, вікном або шаблоном, що є деякою квадратною матрицею, що відповідає деякій групі пікселів вихідного зображення. Елементи матриці прийнято називати коефіцієнтами. Оперування такою матрицею у будь-яких локальних перетвореннях називається просторовою фільтрацією. Процес засновано на простому пересуванні маски фільтра від точки до точки зображення; у кожні точці (x; y) відгук фільтра розраховується з використанням наперед заданих зв'язків. У випадку лінійної просторової фільтрації відгук задається сумою добутків коефіцієнтів фільтра на відповідні значення пікселів в області, яка покрита маскою фільтра [2].

Слід враховувати, що результат роботи того чи іншого градієнтного оператора залежить від динамічних характеристик самого зображення. Суттєвою характеристикою при виявленні контурів є контраст початкового зображення – при малому динамічному діапазоні яскравостей похибка виявлення контурів буде занадто високою. Таким чином необхідним кроком процесу виявлення контурів є розширення динамічного діапазону яскравостей зображення або еквалізація гистограми. На рис. 1 продемонстровано результат розширення динамічного діапазону початкового зображення. На рис. 2 зображено гистограму розподілу яскравостей після еквалізації його гистограми.

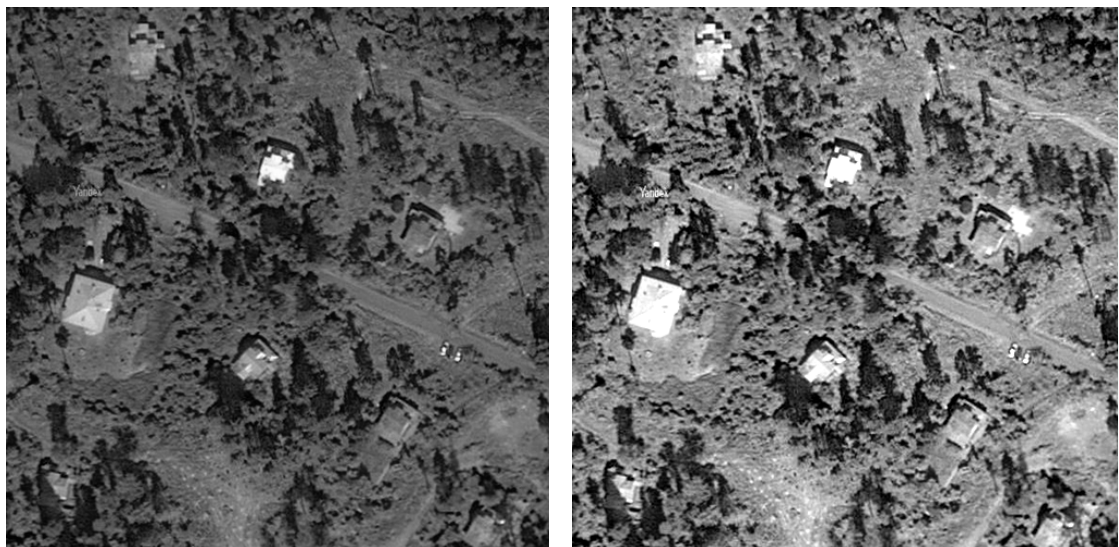


Рис. 1. Результат розширення динамічного діапазону зображень

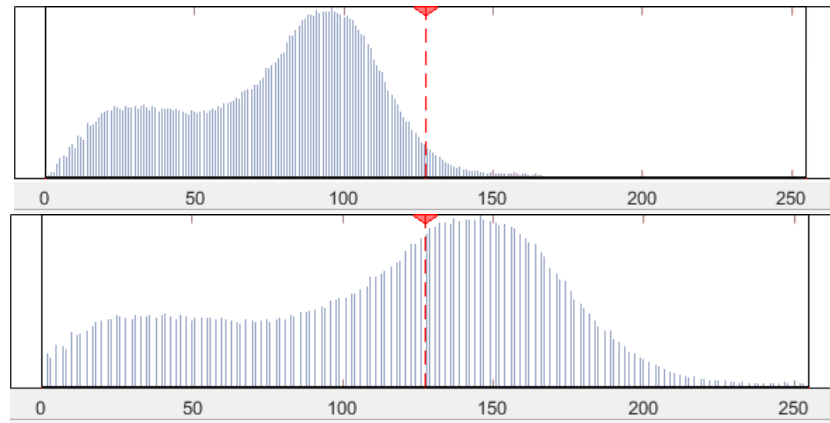


Рис. 2. Розширення динамічного діапазону яскравостей зображення

У середовищі MATLAB виявлення контурів здійснюється за допомогою функції `edge`, яка у загальному вигляді визначається наступним чином:

```
BW = edge(I, method, threshold, direction, sigma)
```

де I – це вхідне зображення; `method` приймає значення відповідно до обраного оператора виявлення контурів ('Canny', 'log', 'Prewitt', 'Roberts', 'Sobel' або 'zerocross'), а `threshold` (поріг), `direction` (напрямок пошуку границь) та `sigma` (стандартне відхилення фільтру) – це параметри фільтру, що підлягають оптимізації.

Не будемо наводити опис роботи операторів Робертса, Кенні, Собеля, Прюїтт, цей матеріал було викладено у [3]. Наведемо лише практичні матеріали дослідження.

Нижче наведено інтерфейс програми, побудований у середовищі MATLAB. На рис. 3 завантажено вихідне зображення, на рис. 4 – результати її роботи. Програма дозволяє здійснювати вибір та порівнювати роботу операторів. Існує можливість роботи як із панхроматичним зображенням, так і з окремими його каналами.

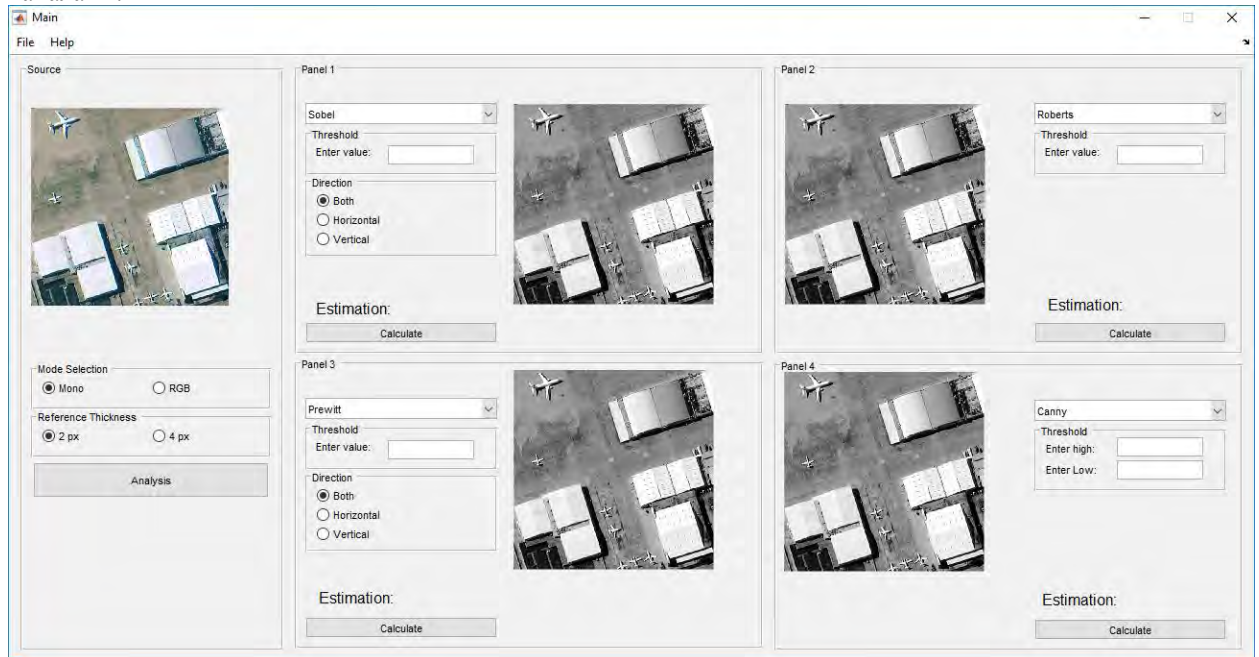


Рис. 3. Інтерфейс програми з завантаженими початковими зображеннями

Задля визначення оптимальних параметрів фільтрації було обрано функцію оптимізації декількох змінних з обмеженнями [4]. У загальному випадку, це завдання відноситься до нелінійної оптимізації з обмеженнями або до нелінійного програмування.

В якості критерію оптимізації було обрано максимум функції подібності виявленого контуру до еталонного контуру зображення $Estimation$, що описується виразом (1).

$$Estimation = \frac{(N_{ref} - N_{Counter}(I_{ref} - I_s)) * 100}{N_{ref}} - \frac{N_{Counter}(I_s - I_{ref}) * 100}{S}, \quad (1)$$

де *Estimation* – ступінь подібності у відсотках; N_{ref} – кількість пікселів еталонного зображення, що складають контури корисних об’єктів на зображенні; $N_{Counter}(I)$ – функція підрахунку кількості контурних пікселів зображення I ; I_{ref} – еталонне зображення контурів; I_s – зображення контурів, що є результатом роботи градієнтного оператора виявлення контурів; S – площа зображення.

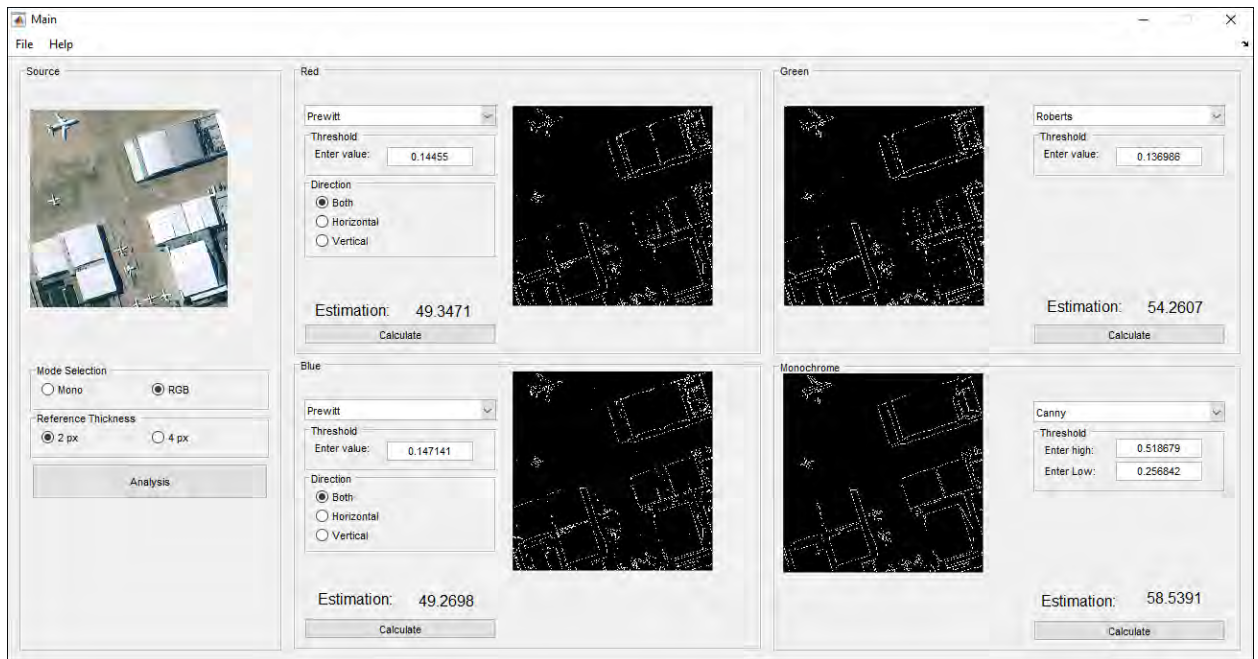


Рис. 5. Результат виконання програми

В якості вихідних даних для дослідження було опрацьовано декілька груп зображень з наперед визначеними (еталонними) контурами. Приклад такого зображення наведено на рис. 6. Поділ на групи здійснювався за критерієм щільності забудови K_o , що визначається приблизно за співвідношенням (2):

$$K_o = \frac{S_o}{S} * 100\% \quad (2)$$

де S_o – це площа штучних об’єктів на зображенні, а S – загальна площа зображення.

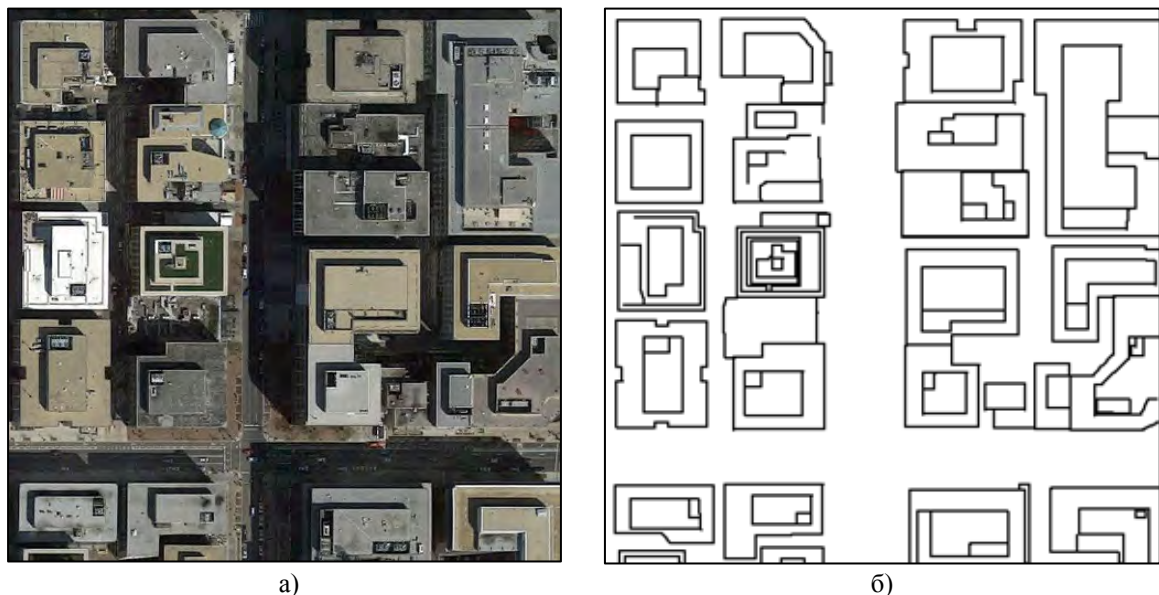


Рис. 6. Приклад вихідних даних:
а) зображення; б) еталонні контури будівель зображення

Відповідно до розробленого критерію та враховуючи специфіку території України, було розроблено наступну наближену модель класифікації зображень:

- міська забудова ($K_o > 75\%$);
- приміська забудова ($50\% > K_o \geq 75\%$);

- сільська місцевість ($25\% > K_o \geq 50\%$);
- сільськогосподарська зона ($5\% > K_o \geq 25\%$);
- природничі території ($K_o \leq 5\%$).

Було розглянуто та створено еталони контурів для більш ніж 10 зображень з кожної групи та проаналізована робота фільтрів в кожній з них.

Висновки

Під час аналізу результатів було отримано велику кількість даних для різних фільтрів та різних каналів зображень. Так, наприклад, у табл. 1 наведено розраховані оптимальний тип фільтру та оптимальний діапазон значень порогу для кожного класу зображень. З таблиці видно, що оптимальний результат досягається приблизно однаковим значенням порогу для кожного класу зображень. Програма надає можливість аналізувати окремі канали зображень (рис. 7), завдяки чому є можливість здійснювати оцінку найбільш інформативного (в контексті виявлення контурів) каналу для конкретного кола вирішуваних задач. У статті наведено лише основну концепцію запропонованої методики та опущена значна кількість деталей, таких як попередня корекція зображення, морфологічна обробка отриманих контурів з метою видалення шуму, застосування змінної товщини контурів та ін. Дана робота є частиною більш об'ємного дослідження, що включає дешифрування різночасових знімків та побудову карти змін.

Таблиця 1

Оптимальне значення порогу відповідно до класу зображень

Клас зображення	Оптимальний тип фільтру	Оптимальний діапазон значень порогу
міська забудова	Канні	0.3 – 0.62
приміська забудова	Канні	0.28 – 0.52
сільська місцевість	Прюїтт	0.18 – 0.25
сільськогосподарська зона	Канні	0.32 – 0.64
природничі території	Канні	0.31 – 0.62

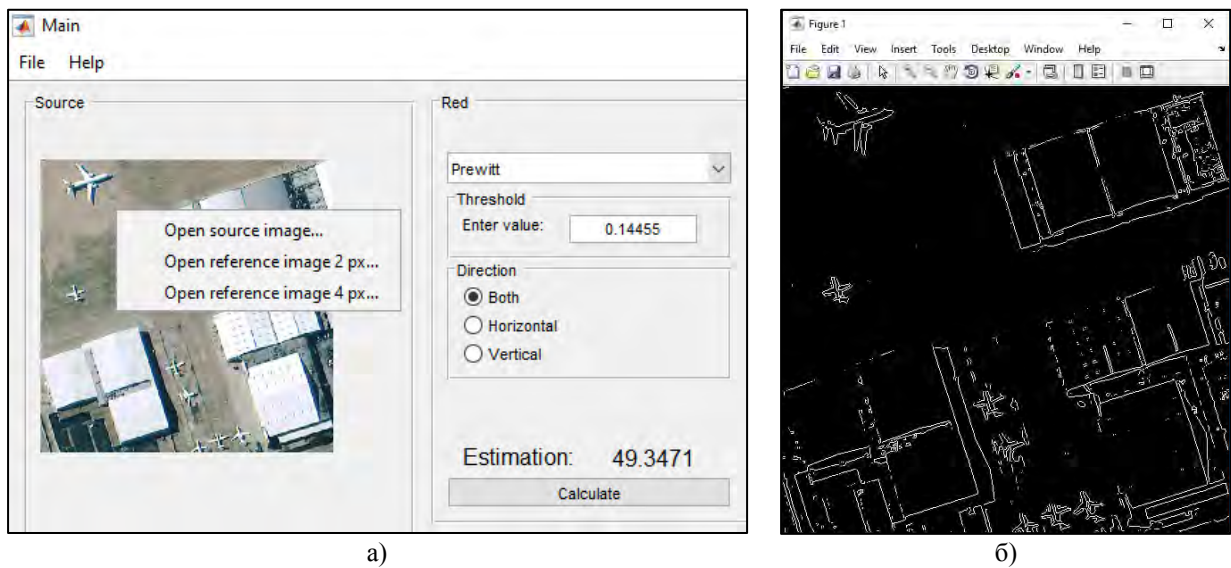


Рис. 7. Приклад виявлення контурів оператором Прюїтт з використанням червоного каналу зображення: а) вікно параметрів фільтрації; б) вікно відображення результатів виявлення

Список використаної літератури

1. Klette R. Handbook of image processing operators / R. Klette, P. Zamperoni — Chichester: John Wiley & Sons, 1996. — 398 p.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — М.: Техносфера, 2005. — 1007 с.
3. Сушевський Д.В. Визначення контурів об'єктів на фотограмметричних проекційних зображеннях / Д.В. Сушевський, В.В. Гнатушенко // Праці Таврійського держ. агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. –Вип. 4, т.46. – С.47-51.
4. MATLAB online documentation [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.mathworks.com/help/optim/ug/fmincon.html>