

Навігація, дистанційне зондування Землі, геоінформаційні системи

УДК 004.932

doi: 10.26906/SUNZ.2019.3.003

Г. В. Худов¹, О. М. Маковейчук², І. А. Хижняк¹, С. І. Березіна¹, Ю. С. Соломоненко¹¹ Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

МЕТОД БАГАТОМАСШТАБНОГО ОБРОБЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Предметом вивчення в статті є метод багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури. **Метою** є розробка методу багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури. **Завдання:** аналіз відомих методів оброблення багатомасштабної послідовності зображень, розробка методу багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури, проведення оброблення зображення з бортової системи оптико-електронного спостереження. Використовуваними **методами** є: методи теорії імовірності, математичної статистики, методи оптимізації, математичного моделювання та цифрової обробки зображень, методи математичної логіки. Отримані такі **результати**. Встановлено, що відомі методи оброблення багатомасштабної послідовності зображень не можуть бути напряму застосовані до багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження. Запропоновано метод багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури. В основі методу покладений двоетапний метод виділення об'єктів міської забудови на зображеннях бортових систем оптико-електронного спостереження з використанням перетворення Хафа. Проведено оброблення зображення з бортової системи оптико-електронного спостереження методом багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному. Запропоновано метод багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури. На відміну від відомих, передбачається використання двоетапного методу визначення елементів міської інфраструктури на зображеннях з різним значенням масштабного коефіцієнта, перемасштабування оброблених зображень з різним значенням масштабного коефіцієнта до вихідного розміру та розрахунок зображення-фільтру, а результуюче оброблене зображення є піксельним добутком вихідного зображення та зображення-фільтру.

Ключові слова: зображення, багатомасштабне оброблення, масштабний коефіцієнт, детектор Канні, перетворення Хафа, об'єкти міської інфраструктури.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Інформація щодо об'єктів міського ландшафту, елементів міської інфраструктури, що отримана з бортових систем оптико-електронного спостереження використовуються для вирішення різномірних завдань [1, 2]. Зростає потреба даних з бортових систем спостереження в інтересах визначення елементів міської інфраструктури обумовлено [3]:

- постійним збільшенням загального обсягу і доступності інформації, що отримується з бортових систем оптико-електронного спостереження;
- збільшенням інформації з високим розрізненням;
- комплексним використанням даних від різних джерел;
- збільшенням кількості суб'єктів у сфері отримання, розповсюдження, обробки та застосування інформації з бортових систем спостереження.

В сучасних бортових системах оптико-електронного спостереження повітряного та космічного базування існує технічна можливість отримання

оптико-електронних зображень однієї ділянки місцевості з різними масштабами [4]. Масштаби оптико-електронних зображень, що отримані з бортової системи спостереження, залежать від: висоти польоту літального апарату-носія бортової апаратури, фокусної довжини апаратури, коефіцієнта збільшення, куту нахилу бортової апаратури, кривизни земної поверхні [4].

Обробка багатомасштабної послідовності зображень однієї ділянки місцевості, безумовно, підвищує якість визначення елементів міської інфраструктури [4].

Отже, актуальним є розробка методу багатомасштабного оброблення зображень бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує декілька підходів до аналізу багатомасштабної інформації, тобто до побудови картини контурів об'єктів градієнтних зображень різного масштабу [5]. Існують підходи, в яких аналіз градієнтних зображень проводиться від грубих масштабів до точних [6, 7] та від точних до грубих [8, 9]. Методи ро-

зрізняються по принципах побудови градієнтного зображення одного масштабу, але при цьому відкритим є питання, яким чином необхідно комбінувати багатомасштабну інформацію для побудови кінцевої картини границь. В роботі Бергольма [6] запропоновано метод, який полягає у послідовному аналізі багатомасштабної інформації від грубих масштабів до точних. Такий підхід дозволяє значно зменшити вплив шуму і, таким чином, уникнути хибного визначення контурів під впливом шумів. Недоліком методу [6] є можливе розділення контурів, що визначаються на грубих масштабах, на декілька окремих при переході до більш точного масштабу. Стратегія розгляду градієнтних масштабів від грубих до точних також відмічається в роботі [7]. Однак в тих випадках, коли на зображенні присутні невеликі об'єкти з різкими границями, точне визначення границь цих об'єктів при переході від грубих масштабів до точних є ускладненим, так як на градієнтних зображеннях грубого масштабу виникає значне зміщення положення різких контурів.

В роботах [8, 9] кінцева картина границь складається на основі аналізу градієнтних зображень від точних масштабів до грубих. При цьому основними задачами є зменшення впливу шуму, до якого чутливі оператори градієнту малого розміру, та комбінування границь, що отримані на точних масштабах, з плавними границями, які визначаються на грубих масштабах. При успішному рішенні таких проблем підхід до аналізу градієнтних зображень від точних масштабів до грубих є найбільш ефективним для багатьох практичних випадків, в яких необхідно достатньо точно визначити контури об'єктів. Однак, методи, що наведені в [6-10] можуть бути застосовані для сегментування сканованих зображень сторінок книг, газет, журналів з великою кількістю об'єктів невеликого розміру, наприклад, букв та символів.

Методи обробки багатомасштабної послідовності цифрових зображень в промислових системах контролю якості наведені в роботах [11, 12]. Однак, розроблені в них методи обробки багатомасштабної послідовності цифрових зображень неможна напряму використовувати для обробки багатомасштабної послідовності зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження.

В роботі [13] запропоновано при сегментуванні оптико-електронних зображень попереднього проводити багатомасштабне перетворення зображень. У якості ядра перетворення обрано гаусіан з відповідним значенням масштабного коефіцієнта. У якості методу сегментування запропоновано використання методу на основі мурашиного алгоритму. Проведено експериментальні дослідження щодо сегментування багатомасштабної послідовності оптико-електронних зображень методом на основі мурашиних алгоритмів. Але методу, запропонованому в [13], притаманний недолік щодо появи великої кількості об'єктів невеликого розміру, які не дозволяють виявити необхідний об'єкт та провести подальше дешифрування зображення з необхідною якістю.

В роботі [14] запропоновано удосконалений метод сегментування багатомасштабної послідовно-

сті зображень, отриманих з космічних систем оптико-електронного спостереження. В основі удосконаленого методу [14] покладено метод на основі мурашиних алгоритмів. Але при використанні удосконаленого методу [14] не вдалося повністю позбутися на сегментованому зображенні об'єктів невеликого розміру, що значно ускладнює структуру сегментованого зображення та істотно впливає на якість дешифрування оптико-електронного зображення.

В [15] запропоновано для сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження, використовувати метод ройового інтелекту (штучної бджолоїної колонії). В [15] показано, що використання методу штучної бджолоїної колонії дозволяє проводити тематичне сегментування зображення з заданими показниками якості, навіть в умовах впливу спотворюючих факторів.

Метою статті є розробка методу багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури.

Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Сутність методу багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури полягає у наступному.

1. Ввід вихідних даних – $f_{K_m}(\mathbf{X})$ – оптико-електронних зображень з різним значенням масштабного коефіцієнту K_m .

2. Оброблення зображень $f_{K_m}(\mathbf{X})$ з різним значенням масштабного коефіцієнту, отримання послідовності оброблених зображень $f_{s_{K_m}}(\mathbf{X})$ з різним значенням масштабу.

У якості методу оброблення кожного зображення з різним значенням масштабного коефіцієнту будемо використовувати двоетапний метод виділення об'єктів міської забудови на зображеннях бортових систем оптико-електронного спостереження з використанням перетворення Хафа [16]. На першому етапі проводиться виділення границь з використанням детектору границь Канні, на другому – виділення елементів міської інфраструктури з використанням перетворення Хафа.

5. Визначення результуючого обробленого зображення $f_{s_R}(\mathbf{X})$ як попіксельного добутку вихідного зображення $f_{K_1}(\mathbf{X})$ та зображення-фільтру $f_f(\mathbf{X})$:

$$f_{s_R}(\mathbf{X}) = f_{K_1}(\mathbf{X}) \& f_f(\mathbf{X}), \quad (1)$$

де $\&$ – логічна операція "кон'юнкція".

Табл. 1 представляє таблицю істинності логічної операції "кон'юнкція" для результуючого сегментованого зображення $f_{s_R}(\mathbf{X})$.

Таким чином, на результуючому обробленому зображенні $f_{s_R}(\mathbf{X})$ пікселі об'єктів міської інфраструктури будуть знаходитися лише в тому випадку,

якщо вони присутні на всіх зображеннях з різним значенням масштабного коефіцієнту.

6. Вивід результуючого обробленого зображення $f_{s_R}(X)$.

Таблиця 1 – Таблиця істинності логічної операції "кон'юнкція" для результуючого обробленого зображення $f_{s_R}(X)$

| $f_{K_1}(X)$ | $f_f(X)$ | $f_{s_R}(X)$ |
|--------------|----------|--------------|
| 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

У якості вихідного будемо розглядати тонове оптико-електронне зображення з бортової системи оптико-електронного спостереження Ikonos (рис. 1) [16]. Зображення з виділеними границями з використанням детектору границь Канні зі значеннями масштабних коефіцієнтів $K_m=1; 2; 4; 8; 16$ наведені на рис. 2. Результат об'єднання перетворення Хафа для різних значень масштабного коефіцієнту наведений на рис. 3. Кружечками на рис. 3 позначені локальні максимуму у параметричному просторі.



Рис. 1. Вихідне зображення

Результат роботи методу багатомасштабного оброблення зображень наведений на рис. 4.

З аналізу рис. 4 та результатів роботи [16] встановлено, що багатомасштабне оброблення зображень дозволяє більш якісніше визначати елементи міської інфраструктури на зображеннях з бортових систем оптико-електронного спостереження. Оцінка якості проведена візуально.

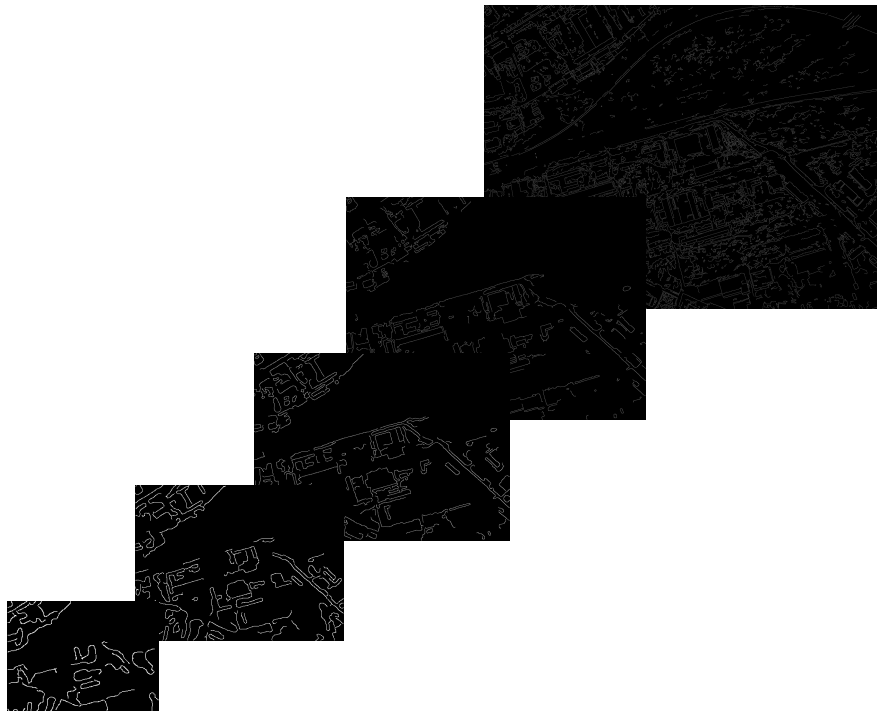


Рис. 2. Зображення з виділеними границями з використанням детектору границь Канні зі значеннями масштабних коефіцієнтів $K_m=1; 2; 4; 8; 16$

Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, в роботі запропоновано метод багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури.

На відміну від відомих, передбачається використання двоетапного методу визначення елементів міської інфраструктури на зображеннях з різним значенням масштабного коефіцієнта, перемасштабу-

вання оброблених зображень з різним значенням масштабного коефіцієнта до вихідного розміру та розрахунок зображення-фільтру, а результуюче оброблене зображення є попіксельним добутком вихідного зображення та зображення-фільтру.

Напрямок подальших досліджень є оцінка кількісних показників якості обробки оптико-електронного зображення (наприклад, помилок обробки першого, другого роду, відстані Кульбака-Лейблера, ентропії обробленого зображення).

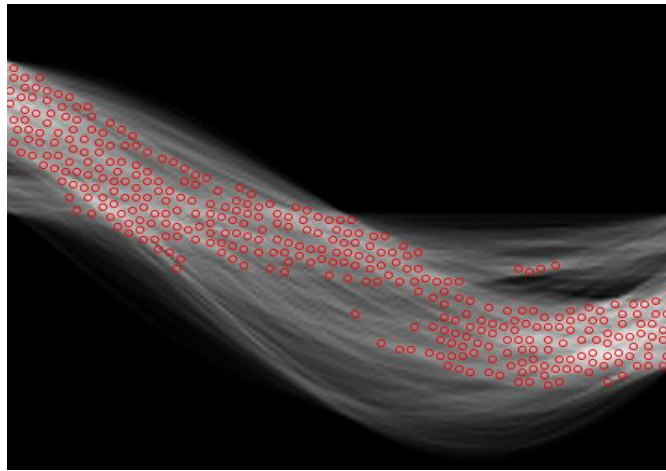


Рис. 3. Результат об'єднання перетворення Хафа для різних значень масштабного коефіцієнту

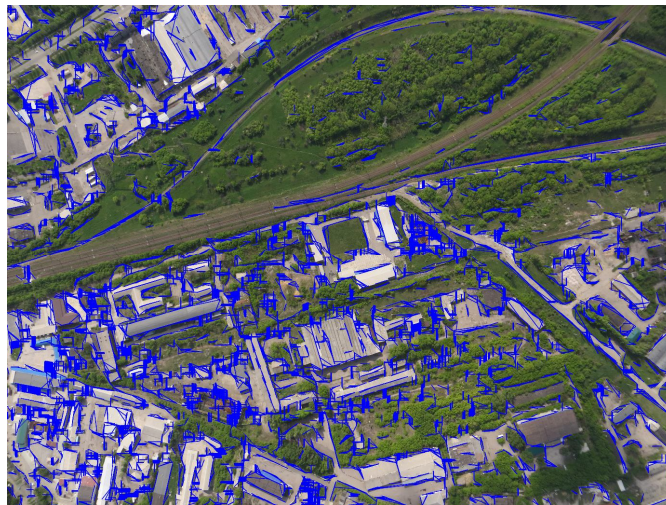


Рис. 4. Результат роботи методу багатомасштабного оброблення зображень

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Walton J. Assessing urban forest canopy cover using airborne or satellite imagery / J. Walton, D. Nowak, E. Greenfield // *Arboriculture and Urban Forestry*. – 2008. – №34(6). – P. 334-340.
- Parmehr E. Mapping urban tree canopy cover using fused airborne lidar and satellite imagery data / E. Parmehr, M. Amati, C. Fraser // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2016. Vol. III-7. – P. 181-186.
- Гук А.П. Автоматизация дешифрирования снимков. Теоретические аспекты статистического распознавания образов / А.П. Гук // *Известия высших учебных заведений*. – 2015. – № 65. – С. 166–169.
- Хижняк І. А. Метод ройового інтелекту (штучної бджолоїної колонії) тематичного сегментування багатомасштабної послідовності зображень, що отримані з бортової системи оптико-електронного спостереження / І. А. Хижняк // *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. — 2018. — № 2 (56). — С. 105–112.
- Ziou, D. Edge Detection Techniques / D. Ziou, S. Tabbone // *An Overview technical report: Dept Math & Informatique. Universit de Sherbrooke*. – 1997. – № 195. – P. 567–578.
- Bergholm, F. Edge Focusing / F. Bergholm // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 1987. – № 9. – P. 726–741.
- Williams, D. J. Edge Contours Using Multiple Scales / D. J. Williams, M. Shas // *Computer Vision, Graphics and Image Processing*. – 1990. – № 51. – P. 256–274.
- Lacroix, V. The Primary Raster: A Multiresolution Image Description / V. Lacroix // *In Proceedings of the 10th International Conference on Pattern Recognition*. – 1990. – P. 903–907.
- Canny, J. F. A Computational Approach to Edge Detection / J. F. Canny // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 1986. – № 8. – P. 679–698.
- Худов В.Г. Аналіз відомих методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження / В.Г. Худов, Г.А. Кучук, О.М. Маковейчук, А.В. Крижний // *Системи обробки інформації*, 2016. – Вип. 9 (146). – С. 77-80.
- Жизняков, А. Л. Формализация некоторых понятий теории обработки многомасштабных последовательностей цифровых изображений / А. Л. Жизняков // *Системы управления и информационные технологии*. – 2007. – № 3 (29). – С. 354–358.
- Жизняков, А. Л. Теоретические основы обработки многомасштабных последовательностей цифровых изображений / А. Л. Жизняков, С. С. Садыков. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 121 с.
- Худов, В. Г. Сегментування багатомасштабної послідовності оптико-електронних зображень мультіагентним методом / В. Г. Худов // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – 2016. – Вип. 1 (37). – С. 107–110.

14. Худов, В. Г. Удосконалений еволюційний метод сегментування багатомасштабної послідовності зображень, отриманих з космічних систем оптико-електронного спостереження / В. Г. Худов, О. М. Маковейчук // Збірник наукових праць ХНУПС. – 2017. – Вип. 3 (52). С. 93–97.
15. Хижняк, І. А. Тематичне сегментування замуленого оптико-електронного зображення роївим методом / І. А. Хижняк, О. М. Маковейчук, В. Г. Худов, І. В. Рубан, Г. В. Худов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2018. – Вип. 1 (47). – С. 146–152.
16. Худов Г. В. Метод виділення об'єктів міської забудови на зображеннях бортових систем оптико-електронного спостереження з використанням перетворення Хафа / Г. В. Худов, О. М. Маковейчук, І. А. Хижняк, Ю. С. Соломоненко, І. Ю. Юзова // Системи управління, навігації та зв'язку. — 2018. — № 6(52). — С. 20–24.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К. С. Васюта,
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

Received (Надійшла) 19.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.06.2019

Метод многомасштабной обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения для определения элементов городской инфраструктуры

Г. В. Худов, А. Н. Маковейчук, И. А. Хижняк, С. И. Березина, Ю. С. Соломоненко

Предметом изучения в статье является метод многомасштабной обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения для определения элементов городской инфраструктуры. **Целью** является разработка метода многомасштабной обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения для определения элементов городской инфраструктуры. **Задачи:** анализ известных методов обработки многомасштабной последовательности изображений, разработка метода многомасштабной обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения для определения элементов городской инфраструктуры, проведение обработки изображения с бортовой системы оптико-электронного наблюдения. Используемыми **методами** являются: методы теории вероятности, математической статистики, методы оптимизации, математического моделирования и цифровой обработки изображений, методы математической логики. Получены следующие **результаты**. Установлено, что известные методы обработки многомасштабной последовательности изображений не могут быть напрямую применены к многомасштабной обработке изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения. Предложено метод многомасштабной обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения для определения элементов городской инфраструктуры. В основу метода положен двухэтапный метод выделения объектов городской инфраструктуры на изображениях бортовых систем оптико-электронного наблюдения с использованием преобразования Хафа. Проведена обработка изображения с бортовой системы оптико-электронного наблюдения с использованием метода многомасштабной обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения для определения элементов городской инфраструктуры. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем. Предложен метод многомасштабной обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения для определения элементов городской инфраструктуры. В отличие от известных, предполагается использование двухэтапного метода определения элементов городской инфраструктуры на изображениях с разным значением масштабного коэффициента, перемасштабирование обработанных изображений с разным значением масштабного коэффициента к исходному масштабу и расчет изображения-фильтра, а результирующее обработанное изображение является попиксельным произведением исходного изображения и изображения-фильтра.

Ключевые слова: изображение, многомасштабная обработка, детектор Канны, преобразование Хафа, объекты городской инфраструктуры.

Method of multi-scale treatment of image from on-board optical-electronic observation systems for determining elements of urban infrastructure

H. Khudov, O. Makoveichuk, I. Khizhnyak, S. Berezina, Yu. Solomonenko

The **subject matter** of the article is method of multi-scale image processing from onboard systems of optical-electronic surveillance to determine the elements of urban infrastructure. The **goal** is to development of a method of multi-scale image processing from onboard systems of optical-electronic observation to determine the elements of urban infrastructure. The **tasks** are the analysis of known methods for processing multiscale image sequence, developing a method for multiscale image processing from on-board optical-electronic surveillance systems for determining elements of urban infrastructure, conducting image processing from an on-board optical-electronic monitoring system. The **methods** used are: methods of probability theory, mathematical statistics, optimization methods, mathematical modeling and digital image processing, methods of mathematical logic. The following **results** are obtained. It has been established that the known methods for processing a multiscale image sequence cannot be directly applied to multiscale image processing from onboard systems of optical-electronic observation. The method of multi-scale image processing from onboard systems of optical-electronic observation to determine the elements of urban infrastructure is proposed. The method is based on a two-stage method for the selection of urban infrastructure objects on the images of on-board optical-electronic surveillance systems using the Hough transform. The image was processed from an onboard optoelectronic surveillance system using the method of multiscale image processing from onboard optoelectronic observation systems to determine the elements of urban infrastructure. **Conclusions.** The scientific novelty of the results is as follows. The method of multi-scale image processing from onboard systems of optical-electronic surveillance to determine the elements of urban infrastructure is proposed. In contrast to the known, it is supposed to use a two-stage method of determining the elements of urban infrastructure on images with different scale factor values, rescaling the processed images with different scale factor values to the original scale and calculating the image filter, and the resulting processed image is the pixel product of the original image and image-filter.

Keywords: image, multi-scale processing, Canny detector, Hough transformation, objects of urban infrastructure.