

УДК 62-529

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.5/07>**Губар В.Г.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Лисенко О.М.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ БАГАТОКАНАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЕТЕКТУВАННЯ І КЛАСИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ПЛАТФОРМ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АРХІТЕКТУРИ РОЗРОБЛЮВАНОГО РІШЕННЯ

У роботі розглянуто принципи структурно-функціональної організації багатоканальних систем детектування і класифікації об'єктів на зображеннях та відеопослідовностях, наведено результати їх порівняльного аналізу, що диктується потребою їх подальшого удосконалення з метою підвищення достовірності детектування та класифікації. Основними критеріями для порівняння є функціональне призначення окремих каналів системи та послідовність обробки в них потоку даних. Розглянуто ряд відомих підходів щодо структурно-функціональної організації багатоканальних систем та їх реалізації на основі: комплексування зображень каналів, паралельного багатоканального аналізу даних, мультиплексування зображень каналів.

Запропоновано удосконалену архітектуру багатоканальної системи детектування і класифікації та розглянуто особливості її реалізації на мобільних (рухомих) платформах. Встановлено необхідність та актуальність використання програмної реалізації методу комплексування зображень з телевізійного та тепловізійного каналів системи. Запропоновано використання додаткових каналів телеметрії (азимут, швидкість, висота тощо) з метою підвищення достовірності детектування та класифікації об'єктів. При цьому інформація з додаткових каналів використовується як при аналізі зображень, так і при формуванні кінцевого результату та прийнятті рішення щодо корекції курсу слідування рухомої платформи.

Архітектура такої системи розроблена з урахуванням використання в побудові мобільних (рухомих) платформ. Застосування подібних платформ можливе як у стаціонарному режимі при спостереженні та супроводженні об'єктів, так і як платформ для доставки корисних вантажів до заданої локації з можливістю автопілоту з коригуванням маршруту руху. Локація може бути введена за допомогою певних характеристик об'єкту.

Ключові слова: багатоканальна система, телеметрія, радіоканал, лазерний канал, інфрачервоний, тепловізійний, візуальний, комплексування зображень, комутатор, паралельна обробка.

Постановка проблеми. Відомо, що виявлення об'єктів та їх класифікація на зображеннях і відеорядах є актуальним на сьогодні для широкого кола людської діяльності, насамперед, у військовій та медичних галузях, робототехніці, системах безпеки тощо. В основному детектування здійснюється на окремих зображеннях і послідовностях зображень (відеорядах), отриманих у різних діапазонах хвиль (видимий, інфрачервоний). Вимоги сьогодення диктують необхідність виконувати виявлення та класифікацію об'єктів у режимі реального часу та з високою достовірністю.

Особливу популярність набули багатоканальні системи, де необхідно аналізувати потік інформації з декількох джерел (каналів) одночасно. При цьому джерела можуть продукувати різні за характеристиками дані (зображення та їх послідовності, фізичні величини, зокрема, положення об'єкту, його швидкість, відстань до нього тощо). Насамперед, саме використанням багатоканальності систем досягається підвищення ефективності виявлення об'єктів та їх класифікації на зображеннях та відеорядах.

Наразі такі системи будуються за принципом програмно-апаратних комплексів, у яких збір

інформації по каналам виконується апаратною частиною, а аналіз даних – програмною. При цьому достовірність таких систем щодо основної функції виявлення об’єктів залежить від їх структурно-функціональної організації, а саме: визначення основних та допоміжних каналів, послідовності обробки даних в них, застосованих методів аналізу та класифікації. Поряд із цим отримані дані з допоміжних каналів можуть використовуватися для уточнення результатів аналізу даних з основних (телевізійного та тепловізійного) каналів, що дозволяє отримати більш достовірний результат.

Структурно-функціональна організація таких багатоканальних програмно-апаратних систем детектування та класифікації об’єктів за послідовністю обробки даних передбачає реалізацію 3-х підходів:

- комплексування зображень каналів;
- паралельний багатоканальний аналіз даних;
- мультиплексування зображень каналів.

Особлива увага наразі приділяється можливості побудови та розгортання таких систем на мобільних рухомих платформах. Така особливість використання накладає додаткові вимоги як щодо конструкції, так і щодо реалізації функціональності програмно-апаратних комплексів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Зупинимося більш детально на особливостях

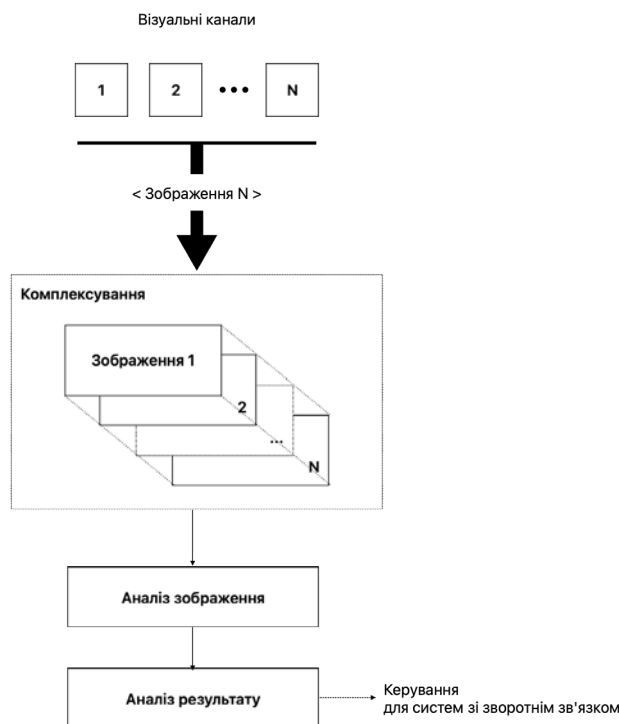


Рис. 1. Реалізація комплексування зображень каналів

структурно-функціональної організації багатоканальних систем детектування та класифікації, які реалізують вищевказані підходи.

Комплексування даних каналів

Реалізацію цього підходу в багатоканальних системах детектування розглянуто в роботах [1–3] та наведено нижче на рис. 1.

Суть цього підходу полягає в точному просторовому суміщенні зображень у каналах, що дає можливість покращити інформаційну складову результуючого зображення у порівнянні з кожним окремим зображенням та, як наслідок, створити цим самим передумови для підвищення достовірності детектування об’єктів. Точне просторове суміщення зображень досягається двома шляхами: конструктивно – шляхом суміщення оптичних осей у вхідному блоці багатоканальної системи та програмно – шляхом комплексування даних.

Перший шлях конструктивного суміщення досліджується в роботі [1]. Згідно її результатів для отримання задовільних результатів комплексування зображень точність просторового суміщення полів зору каналів має відповідати методам комплексування. Зазначено, що найвищу якість суміщення полів зору при цьому забезпечують оптичні системи з коаксіальним розташуванням об’єктивів каналів, а у разі використання штатних об’єктивів – схеми з дихроїчними світлорозділювачами.

Приклад програмного комплексування досліджено у роботі [3]. Згідно наведених там результатів комплексування даних двох каналів дозволяє суттєво підвищити інформативність результуючого зображення, що дало змогу збільшити ймовірність виявлення об’єкта в умовах наявності завад та шумів до 15% у порівнянні із застосуванням класичних методів.

У роботі [4] авторами запропоновано метод комплексування, який на відміну від класичних дає змогу сумістити зображення, сформовані сенсорами різної фізичної природи в багатоканальних системах моніторингу. Для точного комплексування зображень в таких системах спочатку виконується суміщення зображень, отриманих з різних джерел. Запропоновано використання методів, які є інваріантними до перетворення яскравості, зокрема, метод, що використовує як критерій подібності зображень максимум функції взаємної інформації між зображеннями.

Паралельний багатоканальний аналіз

Реалізація паралельного аналізу даних по декільком каналам наведена на рис. 2.

Основна відмінність цього підходу від розглянутого вище комплексування зображень – це

наявність блоку аналізу для кожного з візуальних каналів та окремого блоку вибору результату. Цей підхід пришвидшує отримання результатів аналізу за рахунок паралельності, однак він є апаратно збитковим при апаратній реалізації, а при програмній – зростають вимоги до обчислювальних спроможностей багатоканального аналізатора. Результати використання цього підходу при структурно-функціональній організації багатоканальної системи аналізу зображень наведено в роботах [5, 6].

У патенті [7] розглянуто систему відстеження людей, яка складається з двох візуальних каналів та містить складові, наведені нижче на рис. 3.

Аналіз даних виконується у блоках відстеження та детектування кожного із каналів. Результати

обробки в кожному окремому каналі (місцезнаходження людей та теплові локації) вирівнюються в просторо-часовому відношенні у блоці просторо-часового вирівнювання.

У іншому патенті [8] розглянуто двоканальну систему виявлення об'єктів у межах контрольованої зони. Блок спостереження зазначеної системи наведено на рис. 4.

Система проводить аналіз зображень з відеокамери та інфрачервоного сенсору. Відповідно у блоках “DSP модуль” та “IP модуль детектування” проводиться аналіз візуальних даних. Результати аналізу передаються на центральну станцію моніторингу.

Основним недоліком паралельної обробки зображення по окремим каналам є апаратна надлишко-

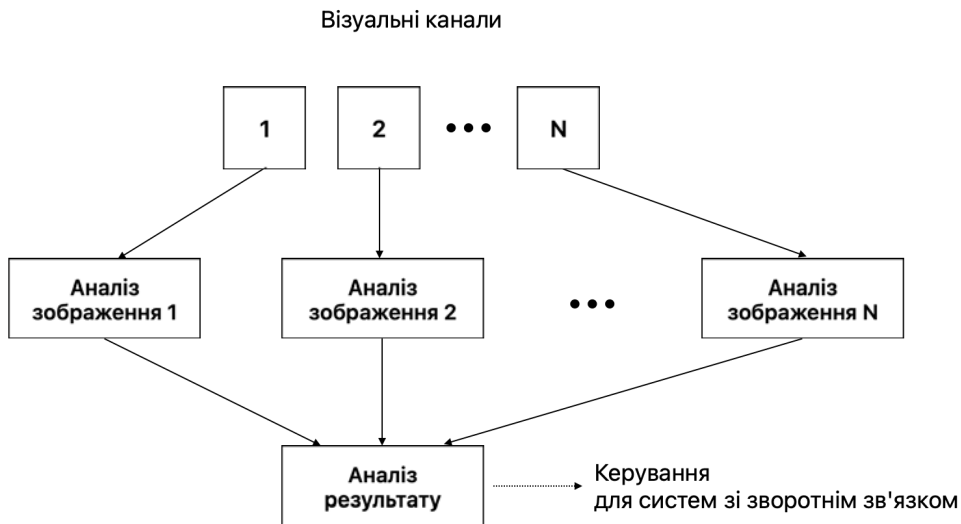


Рис. 2. Реалізація паралельного багатоканального аналізу зображень



Рис. 3. Структурна схема системи відстеження людей згідно [7]

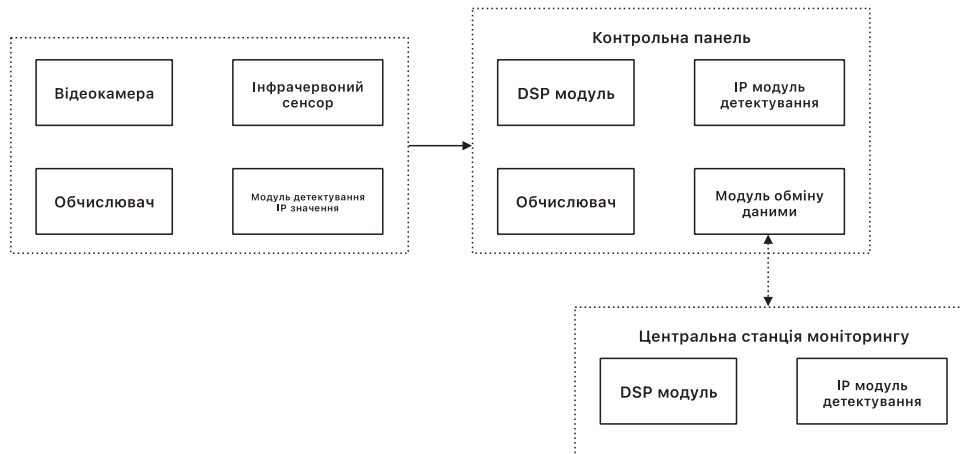


Рис. 4. Структура блока спостереження системи згідно [8]

вість реалізації, яка може бути критичною для використання в мобільних (рухомих) платформах.

Мультиплексування зображень каналів

Суть цього підходу обробки зображень візуальних каналів зводиться до вибору того чи іншого каналу для проведення подальшого аналізу (рис. 5). При цьому канали можуть обиратися як послідовно, так і по певному критерію – чіткості, контрастності зображення тощо. Важливим компонентом такої реалізації є мультиплексор, основними вимогами до якого в залежності від складності переключення/вибору каналів є наступні: швидкодія, пропускна спроможність, наявність можливості вибору робочого каналу.

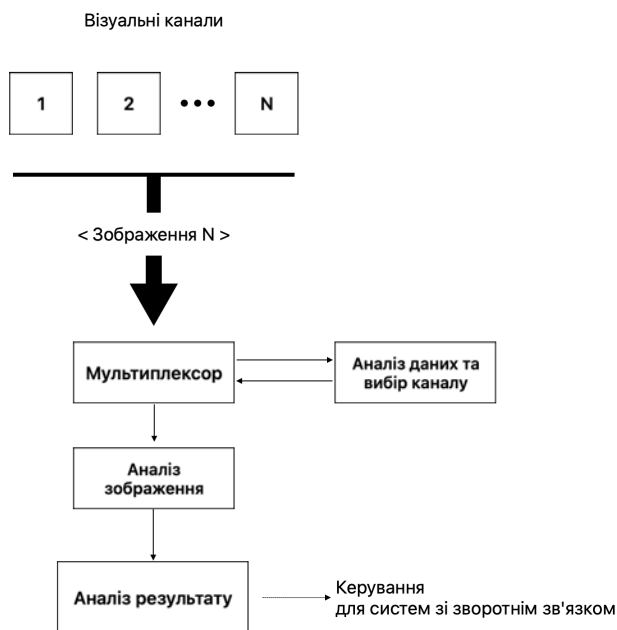


Рис. 5. Реалізація мультиплексування зображень каналів

В роботі [9] запропоновано структурно-функціональну організацію комплексу обробки відео-

потоків, що використовує процедуру мультиплексування каналів (рис. 6).

Комплекс обробляє послідовність зображень, що отримується від цифрової відеокамери та тепловізора. Відеопотоки через комутатор (мультиплексор) передаються до блоку серіалізатора, де препаруються для передачі через послідовний інтерфейс (диференціальна пара) на блок десеріалізатора споживача.

В цьому рішенні однією з головних вимог до комутатора є необхідність швидкого переключення ним відеопотоків від різних джерел та можливість підключення відеокамер з різним протоколом обміну даними.

Використання мультиплексування зображень каналів для їх обробки в багатоканальних системах застосовуються в рішеннях, де блок збору інформації та блок обробки рознесені у просторі. До недоліків цього підходу слід віднести необхідність застосування в системі блоків серіалізатора та десеріалізатора, однією з головних вимог до яких є їх швидкодія.

Постановка завдання. Наведений вище аналіз досліджень та публікацій дозволяє визначити основну тенденцію побудови багатоканальних систем для детектування та класифікації об'єктів на відеопослідовностях – це використання ними суто візуальних каналів.

З метою підвищення достовірності детектування та класифікації об'єктів запропоновано врахувати в їх структурно-функціональній організації наступні особливості:

- використання візуальних каналів для отримання відеопотоку як основних;
- використання додаткових каналів (телеметрії, радіолокаційного, лазерного) для уточнення ситуативної картини;

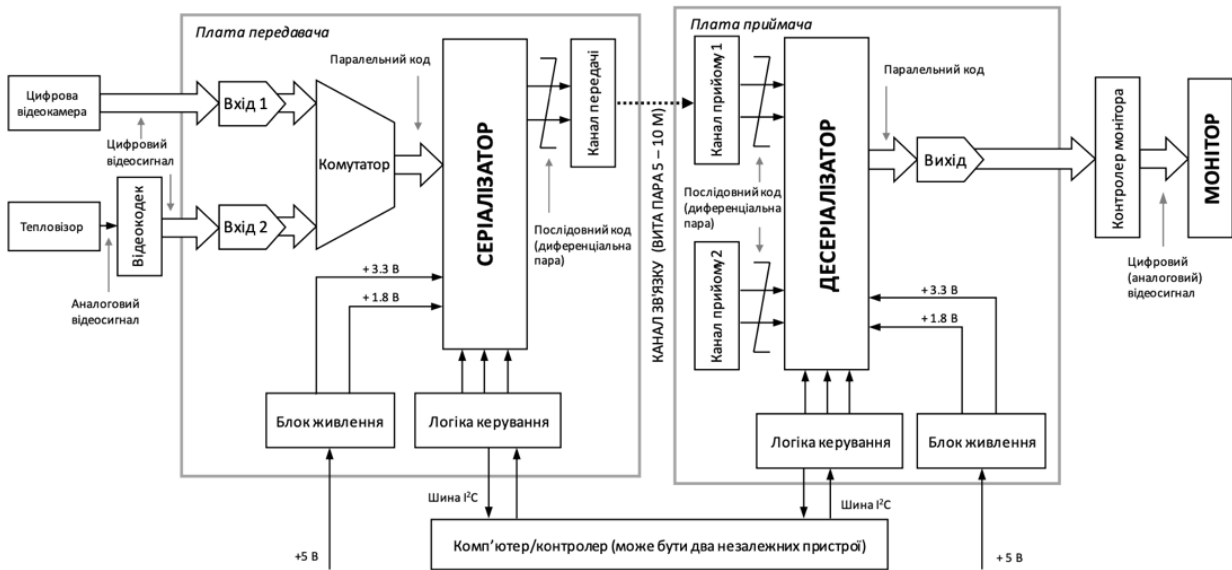


Рис. 6. Структурно-функціональна організація комплексу обробки відеопотоку згідно [9]

- можливість використання системи на мобільних (рухомих зі значним переваженням) платформах;
- можливість розгортання з використанням вбудованих «систем на кристалі».

Виклад основного матеріалу. Архітектура запропонованого рішення з використанням комплексування зображень основних каналів системи та з урахуванням даних додаткових каналів багатоканальної системи для детектування та класифікації об'єктів наведена нижче на рис. 7.

В запропонованому рішенні канали поділяються на візуальні – для отримання даних з відеокамери і тепловізора та додаткові (допоміжні). В якості допоміжних каналів можуть виступати як радіолокаційний (радар), лазерний (лідар), так і канали для збору телеметрії (швидкість, азимут тощо), які пропонується в подальшому використовувати при проведенні аналізу зображень для оптимізації виявлення та класифікації об'єктів.

З метою підвищення інформативності результуючого зображення у порівнянні з кожним окремим зображенням об'єкта, отриманим з візуальних каналів, пропонується використання комплексування зображень. Оскільки система розробляється для мобільних (рухомих платформ), це накладає також додаткові вимоги до конструкції, а використання конструктивного комплексування

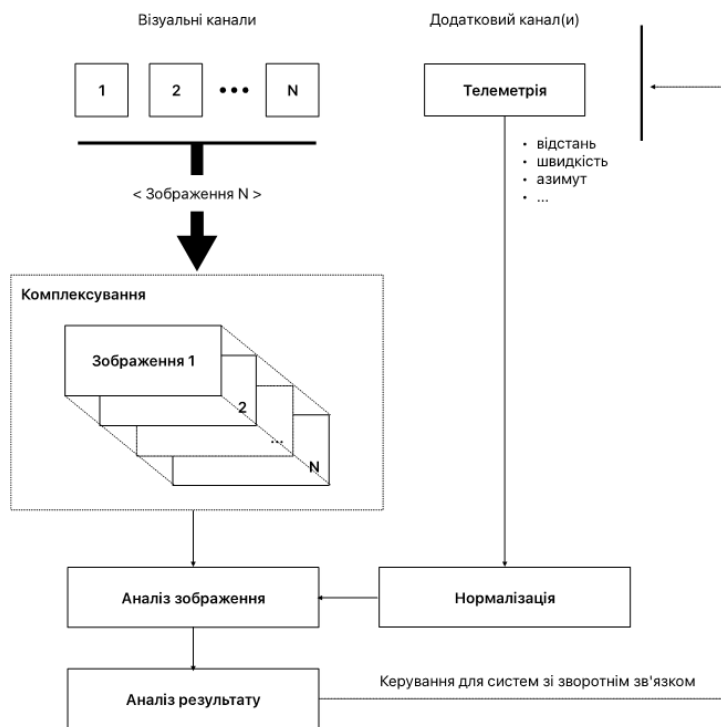


Рис. 7. Архітектура запропонованого рішення

за допомогою суміщення оптичних осей [1] може бути ускладнено динамічними навантаженнями, які в залежності від сфери використання можуть сягати десятків одиниць.

Тому пропонується для виконання блоку комплексування зображень задіяти програмні рішення, в тому числі на основі результатів досліджень, викладених в роботах [2, 3] та реалізованих з використанням вбудованих систем.

Блок аналізу зображень виконує основну функцію по детектуванню та класифікації об'єктів. Для підвищення достовірності цих процедур пропонується використовувати нормалізовані до відповідних характеристик зображень дані з додаткових каналів. Нормалізація параметрів необхідна для синхронізації з даними візуальних каналів (блок нормалізації). Використання додаткових даних дає змогу оптимізувати процедуру детектування, наприклад, дані азимуту на об'єкт дозволяють аналізувати не все зображення, а тільки певну його частину.

Кінцеве рішення приймається в блоці аналізу результату, що пов'язано з можливим отриманням декількох результатів з відповідною достовірністю детектування при аналізі зображень. Кінцеве рішення (результат) використовується для створення коригуючих (управляючих) команд зворотного зв'язку на виконавчі блоки системи. Такий підхід дозволяє своєчасно змінити параметри руху (напрямок, швидкість, висота тощо) мобільної (рухомої) платформи для досягнення кінцевої цілі.

Висновки. У роботі розглянуто принципи структурно-функціональної організації багатоканальних систем детектування і класифікації об'єктів на зображеннях та відеопослідовностях, наведено результати їх порівняльного аналізу, що диктується потребою їх подальшого удосконалення з метою підвищення достовірності детекту-

вання та класифікації. Основними критеріями для порівняння є функціональне призначення окремих каналів системи та послідовність обробки в них потоку даних. Розглянуто ряд відомих підходів щодо структурно-функціональної організації багатоканальних систем та їх реалізації на основі: комплексування зображень каналів, паралельного багатоканального аналізу даних, мультиплексування зображень каналів.

Запропоновано удосконалену архітектуру багатоканальної системи детектування і класифікації та розглянуто особливості її реалізації на мобільних (рухомих) платформах. Встановлено необхідність та актуальність використання програмної реалізації методу комплексування зображень з телевізійного та тепловізійного каналів системи. Запропоновано використання додаткових каналів телеметрії (азимут, швидкість, висота тощо) з метою підвищення достовірності детектування та класифікації об'єктів. При цьому інформація з додаткових каналів використовується як при аналізі зображень, так і при формуванні кінцевого результату та прийнятті рішення щодо корекції курсу слідування рухомої платформи.

Напрямок подальших досліджень є розроблення програмно-апаратних рішень реалізації блоку аналізу багатоканальної системи з використанням додаткових показників даних та проведення його експериментальних досліджень.

Список літератури:

1. Котовський, В. Й., Микитенко В.І. Комплексування зображень в багатоканальних оптико-електронних системах з різноформатними матричними приймачами випромінювання. *Вісті академії інженерних наук України*. 2008. №3 (37). С. 38–44. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27035/1/art_55.pdf.
2. Микитенко В.І., Котовський В.Й., Богатирьова Г.В. Багатоканальні іконічні системи дистанційного моніторингу. *Вісті академії інженерних наук України*. 2007. № 2(32). С. 21-26. URL: http://oer.kpi.ua/downloads/nauka/articles/mikit/visti_AIN_2007.pdf.
3. Мамута М.С. Підвищення ефективності комплексування оптико-електронних систем спостереження : дис. ... канд. техн. наук. : 05.11.07. Київ, 2013. 151с. 1 електрон. опт. диск (CD-R).
4. А. П. Гривачевський, С. Є. Фабіровський Суміщення зображень сформованих сенсорами різної фізичної природи в процесі комплексування сигналів у мультиспектральних системах моніторингу. *Радіоелектроніка та телекомунікації*. 2017. № 874. С. 73-80.
5. Method and System for Tracking People in Indoor Environments using a Visible Light Camera and a Low-Frame-Rate Infrared Sensor: пат. US20150324656 США, МПК: G06K 9/46, G06K 9/52, H04N 5/33, H04N 7/18, G01J 5/02, G01J 5/00; заявл. 24.02.2014; опубл. 27.08.2015.
6. Intruder detection using video and infrared data: пат. CA2658347 Канада, МПК: G08B 13/19, G08B 13/196.; заявл. 04.07.2007; опубл. 01.09.2015.
7. Багатоканальний тепловізійно-телевізійний комплекс пошуку-виявлення із завадостійким швидкісним інтерфейсом передачі даних : звіт про НДР (заключний); НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»; кер. д-р техн. наук, проф. Олександр ЛИСЕНКО. Київ, 2020. 160 с. д/б № 2116-п, URL: <https://report.kpi.ua/uk/0118U003751>

Gubar V.G., Lysenko O.M. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL ORGANIZATION OF MULTI-CHANNEL OBJECT DETECTION AND CLASSIFICATION SYSTEMS FOR MOBILE PLATFORMS AND JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF THE ARCHITECTURE OF THE DEVELOPED SOLUTION

The work examines the principles of structural and functional organization of multi-channel systems for detecting and classifying objects on images and video sequences and gives the results of their comparative analysis, which is dictated by the need for further improvement to increase the reliability of detection and classification. The main criteria for comparison are the functional purpose of individual channels of the system and the sequence of data flow processing in them. Several well-known approaches to the structural and functional organization of multi-channel systems and their implementation are considered based on the complexation of channel images, parallel multi-channel data analysis, and multiplexing of channel images.

The improved architecture of the multi-channel detection and classification system is proposed, and the peculiarities of its implementation on mobile (moving) platforms are considered. The need and relevance of using the software implementation of the method of integrating images from the system's television and thermal imaging channels has been established. It is proposed to use additional telemetry channels (azimuth, speed, height, etc.) to increase the reliability of object detection and classification. At the same time, information from additional channels is used both in analyzing images and in forming the final result and decision-making regarding the correction of the moving platform's tracking course.

The architecture of such a system is developed taking into account the use in the construction of mobile (moving) platforms. The use of such platforms is possible both in stationary mode when observing and accompanying objects and as platforms for delivering valuable cargo to a given location with the possibility of autopilot with the adjustment of the movement route. The location can be entered using specific characteristics of the object.

Key words: multi-channel system, telemetry, radio channel, laser channel, infrared, thermal imaging, visual, image integration, switch, parallel processing.