

УДК 621.384.3

В.І. Боженко

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

СПОСОБИ ФОРМУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО БАГАТОКАНАЛЬНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ МОНІТОРИНГУ ТЕПЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Проаналізовано можливі шляхи формування комплексних зображень у тепловізійній системі, на основі проведеного аналізу запропоновано метод визначення теплофізичних характеристик об'єктів при дистанційному моніторингу та схему його реалізації.

Ключові слова: тепловізійна система, тепловізійна камера, тепловізійне зображення, комплексне багатоканальне зображення.

Вступ

Постановка проблеми. Фахівцям у галузі теплобачення добре відомі способи дистанційного моніторингу теплових об'єктів, які ґрунтуються на порівняльному аналізі теплових полів поверхні об'єкта та оточуючого середовища шляхом сканування заданої зони спостереження в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні електромагнітних хвиль [1, 2]. Однак подекуди результати їх застосування виявляються незадовільними за своєю якістю та інформативністю, оскільки теплові зображення (ТЗ) істотно відрізняються від отриманих із видимого діапазону, а температурні перепади створюють контрасти однорідних поверхонь. Крім того у цьому випадку неможливо здійснювати координатну прив'язку стану фрагментів поверхні спостережуваного об'єкта до його внутрішньої конструкції та динаміки її зміни через відсутність у тепловізійному та телевізійному каналах тепловізійної системи (ТС) роздільної здатності по дальності та радіальній швидкості руху об'єкта в цілому та його конструктивних елементів. Відтак постає завдання розробки вдосконаленої ТС для детального визначення теплофізичного стану об'єктів спостереження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У сучасних ТС з метою підвищення точності координатної прив'язки елементів теплової картини вважається за доцільне ТЗ доповнювати видимим, яке виводиться на окремий монітор [3], або відтворюється по черзі або паралельно у поліекранному режимі з тепловим, або накладається на теплове, для чого у склад ТС вводять допоміжний канал видимого діапазону [4]. Проте, таке окреме відтворення не дає достатньої прив'язки до об'єкта; суміщення ж монохромних видимого і ТЗ руйнує цілісність сприйняття, що не задовольняє завданням дистанційного теплового моніторингу, зокрема динамічних об'єктів.

Відтак, **мета статті** полягає в аналізі можливостей покращення результатів роботи ТС шляхом

аналізу можливостей обробки ТЗ та включенням до її складу додаткових компонентів для деталізованого визначення теплофізичного стану об'єктів спостереження.

Основна частина

Як свідчить досвід, однією із найнагальніших проблем спостереження, з якою стикаються як військові, так і цивільні спостерігачі, у випадку необхідності одночасного огляду великої кількості об'єктів, є виявлення цілі та відслідковування її переміщення, особливо у випадку руху за хаотичною траєкторією.

Незважаючи на спроможність ІЧ камер виявляти приховані об'єкти (наприклад, під одягом) вони не можуть скласти конкуренції використанню рентгєнівських сканерів, що розраховані на виявлення анатомічних особливостей людського тіла, встановлених у аеропортах. Крім того ІЧ пристрої неефективні при виявленні ємностей із рідинами або вибухових пристроїв, схованих під одягом.

Досвід організації спостережень показує, що зазвичай особа, в об'язки якої входить спостереження за натовпом, не бере особисто участі у затриманні підозрюваних. Охоронець зазвичай керується вказівками команди спостереження, яка описує йому колір волосся та одяг, що відслідковує за допомогою відеомоніторів.

Відтак, фахівці з організації безпеки визнають, що на сьогодні постійно зростає потреба у неруйнуючих системах спостереження, зокрема для виявлення прихованої зброї та саморобних вибухових пристроїв.

Одним із можливих шляхів підвищення інформативності ТС є формування композитних (складених) зображень, які створюють шляхом накладання зображень, сформованих у різних ділянках спектра випромінювання. Насамперед це стосується зображень, отриманих у видимому та ІЧ діапазонах (рис. 1).

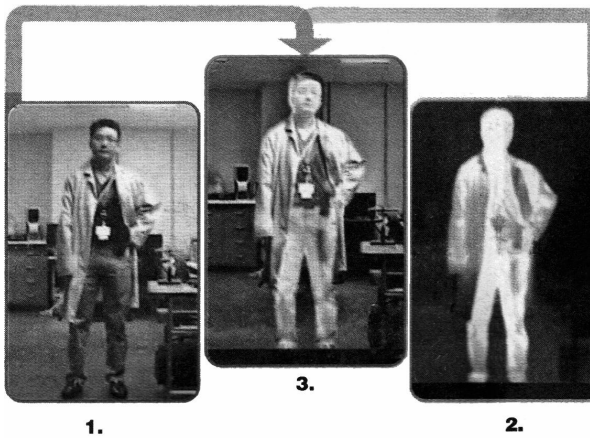


Рис. 1. Видиме (1), інфрачервоне (2) та композитне зображення (3):

- 1) зображення із видимого діапазону спектра надають детальну інформацію стосовно зовнішнього вигляду об'єкта спостереження, але не показує металевий стрижень, схований у лівій кишені дослідника;
- 2) довгохвильове ІЧ зображення виявляє прихований предмет, проте у ньому відсутня інформація стосовно особливостей зовнішнього вигляду (одягу, обличчя тощо), необхідних для відслідковування об'єкта;
- 3) композитне зображення виявляє прихований предмет та показує особливості зовнішнього вигляду, колір одягу та решту деталей

Композитні зображення [5] формуються як:

- «фрагментарні», тобто отримані за рахунок об'єднання окремих фрагментів, формованих у різних зонах спектра, відповідно до очікуваного випромінювання досліджуваного об'єкта;
- «контурні», які є комбінацією контурів зображення видимого діапазону і псевдокольорового (розфарбованого) теплового зображення (рис. 2);

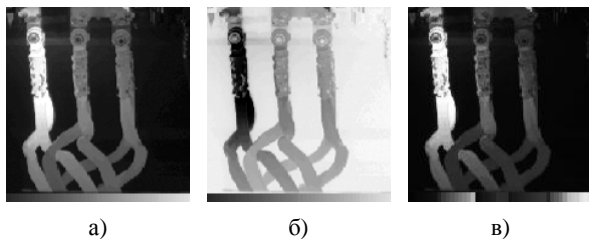


Рис. 2. Тепловізійне зображення:
а) отримане від тепловізійної камери;
б) інверсне; в) псевдокольорове

- «напівпрозорі», в яких одне із зображень є фоном для інших, а їх комбінація виконується у відповідності з певним пріоритетом.

У багатьох випадках використання лише контурів видимого зображення є особливо зручним, оскільки у цьому випадку не відбувається маскування теплового.

Відтак, при формуванні композитних зображень, особливо динамічних теплових об'єктів (рухомих або ж об'єктів із постійною зміною їх теплового стану), постає проблема калібрування, взаємоузгодження та синхронізації роботи двох окремих камер – телевізійної та тепловізійної.

Для вирішення цієї проблеми пропонується двоканальна ТС (рис. 3), що складається з детекторів ІЧ та видимого зображення, виходи яких підімкнені до синтезатора кольору та генератора контурів через формувачі тепловізійного та телевізійного сигналів відповідно, синхрогенератора, перший вихід якого підімкнений до синхровходів формувачів тепловізійного і телевізійного сигналів та першому синхровходу генератора контурів, а другий вихід – до другого синхровходу генератора контурів, змішувача, входи якого підімкнені до RGB-виходів синтезатора кольору та генератора контурів, а вихід – до кольорового відеомонітора.

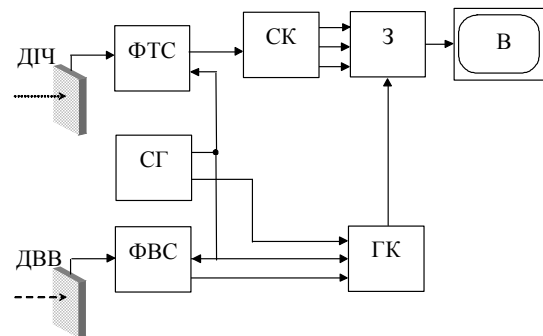


Рис. 3. Схема формування комплексного зображення тепловізійною системою:

- ДІЧ – детектор інфрачервоного випромінювання;
ДВВ – детектор видимого випромінювання;
ФТС та ФВС – формувачі тепловізійного та відеосигналів; СГ – синхрогенератор;
З – змішувач; СК – синтезатор кольору;
ГК – генератор контурів;
В – кольоровий відеомонітор

Генератор контурів ТС [4] складається з пам'яті кадрів, регістра зсуву, арифметико-логічного пристрою, буферного регістра, схеми порівняння та тригера, причому інформаційний вхід пам'яті кадру є інформаційним входом генератора контурів, вхід запису є першим синхровходом генератора контурів, з'єднаним з синхровходом тригера, вхід зчитування – другим синхровходом генератора контурів, з'єднаним з синхровходами регістра зсуву та буферного регістра, а вихід пам'яті кадру з'єднаний з інформаційним входом регістра зсуву та першим входом сумування арифметико-логічного пристрою, вхід віднімання якого з'єднаний з виходом регістра зсуву, другий вихід якого з'єднаний з першим входом схеми порівняння, вихід якої з'єднаний з інформаційним входом тригера, а другий вхід схеми порівняння з'єднаний з другим входом сумування арифметико-логічного пристрою та виходом буферного регістра, інформаційний вхід якого з'єднаний з виходом арифметико-логічного пристрою, а вихід тригера є виходом генератора контурів.

Зауважимо однак, що характеристики цієї ТС не дозволяють визначити зв'язок між тепловим станом фрагментів поверхні спостережуваного об'єкта та

процесами, що відбуваються всередині об'єкта, зокрема змінами його внутрішніх конструктивних параметрів.

Відповідно вирішення поставленої задачі підвищення інформативності та точності дистанційного моніторингу теплофізичних характеристик спостережуваних об'єктів можливе шляхом кореляції даних стосовно зв'язку внутрішньої структури об'єкта та властивостей конструкції з теплофізичними параметрами фрагментів його поверхні, що дозволить:

- підвищити достовірність діагностування теплофізичного стану об'єкта при дефектоскопії;

- формувати прогноз зміни теплофізичного стану об'єкта та пов'язаних із ним процесів (відмов, порушення умов безпечної експлуатації).

Розв'язок поставленої задачі досягається тим, що синхронно формується зображення спостережуваного об'єкта у ІЧ та видимому діапазонах, а також дальніший «портрет» спостережуваного об'єкта у радіодіапазоні, причому зображення у ІЧ діапазоні розкладається на кольорові складові, що відповідають тепловому стану фрагментів поверхні спостережуваного об'єкта, а за допомогою зображення із видимого діапазону формують геометричний контур спостережуваного об'єкта для координатної прив'язки фрагментів поверхні шляхом суміщення на екрані кольорового відеомонітора ТЗ об'єкта з його геометричним контуром та відображення його на верхньому полі екрана кольорового відеомонітора, одночасно із несинхронним відображенням на нижньому полі екрана відеомонітора дальнішого «портрета» об'єкта, який також використовується для стробування теплового ІЧ каналу.

Підвищення інформативності та точності дистанційного моніторингу теплофізичних характеристик спостережуваних об'єктів шляхом додаткового формування дальніших «портретів» у радіодіапазоні з урахуванням доплерівських ефектів дозволить зменшити ймовірність руйнування об'єкта та прогнозувати інтервал часу його безпечної експлуатації у динамічно змінюваній обстановці.

Окрім того розв'язок поставленої задачі досягається також тим, що система дистанційного визначення теплофізичного стану об'єктів, яка складається з детекторів ІЧ та видимого випромінювання, виходи яких підключені до синтезатора кольору та генератора контурів через формувачі тепловізного та телевізійного сигналів, відповідно, синхрогенератора, перший вихід якого підключено до синхровходів формувачів тепловізного, телевізійного сигналів та першого синхровхода генератора контурів, а другий вихід – до другого синхровхода генератора контурів, змішувача, входи якого підключені до RGB-виходів синтезатора кольору та генератора контурів, а вихід – до першого входу кольорового відеомонітора, додатково містить когерентно-імпульсну радіолокаційну станцію (РЛС) та електронний ключ,

причому вхід електронного ключа підімкнений до виходу детектора ІЧ випромінювання, вихід – до формувача тепловізного сигналу, синхровхід когерентно-імпульсної РЛС з'єднаний з першим синхровходом синхрогенератора, а вихід – з керуючим входом електронного ключа та другим входом кольорового відеомонітора.

Використання когерентно-імпульсної РЛС [6] для формування дальнішого «портрета» об'єкта спостереження дозволяє взаємосинхронно за часом та взаємоузгоджено у просторі формувати кольорове тепловізне, контурне телевізійне та радіолокаційне зображення того самого об'єкта та шляхом оцінки їх взаємної кореляції точно діагностувати теплофізичний стан спостережуваного об'єкта. На рис. 4 представлена схема визначення теплофізичних характеристик об'єктів при дистанційному моніторингу.

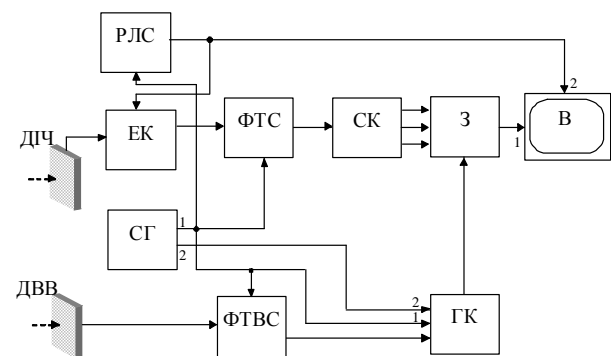


Рис. 4. Схема визначення теплофізичних характеристик об'єктів при дистанційному моніторингу:

- ДІЧ – детектор інфрачервоного випромінювання;
 ДВВ – детектор видимого випромінювання;
 ЕК – електронний ключ; СГ – синхрогенератор;
 ФТС – формувач тепловізного сигналу;
 ФТВС – формувач телевізійного сигналу;
 СК – синтезатор кольору; З – змішувач;
 В – кольоровий відеомонітор;
 ГК – генератор контурів

Визначення теплофізичних характеристик об'єктів при дистанційному моніторингу здійснюється наступним чином: формується комплексне зображення спостережуваного об'єкта шляхом синхронної обробки сигналів детекторів ІЧ та видимого випромінювання, напівтоновий тепловізійний сигнал розкладається на кольорові складові, з напівтонового телевізійного сигналу формується контур об'єкта, вони змішуються та подаються на перший вхід кольорового відеомонітора, синхронно з комплексним зображенням формується дальніший «портрет» об'єкта шляхом обробки ехосигналів когерентно-імпульсної РЛС, що використовується для стробування тепловізного каналу та подається на другий вхід кольорового відеомонітора.

Для визначення теплофізичних характеристик об'єктів при дистанційному моніторингу ТС містить

детектор ІЧ випромінювання, який через електронний ключ підімкнений до формувача тепловізійного сигналу, детектор видимого випромінювання, підімкнений до входу формувача телевізійного сигналу, синхронізатор, перший вихід якого підімкнено до синхровходу формувача тепловізійного сигналу, формувача телевізійного сигналу, когерентно-імпульсної РЛС та першого синхровходу генератора контурів, відповідно, а другий вихід – до другого синхровходу генератора контурів, синтезатор кольору, RGB-виходи якого підімкнені до першого входу змішувача, другий вхід якого підімкнений до виходу генератора контурів, причому вихід змішувача підімкнений до першого входу кольорового відеомонітора, а вихід когерентно-імпульсної РЛС підімкнений до керуючого входу електронного ключа та другого входу кольорового відеомонітора.

Пропонована система визначення теплофізичних характеристик об'єктів при дистанційному моніторингу працює наступним чином: прийняте поле теплового випромінювання об'єкта з виходу датчика ІЧ через електронний ключ після перетворення у напівтоновий сигнал у формувачі розкладається на кольорові складові у синтезаторі кольору та змішується із сигналом генератора контурів, що формується з напівтонового телевізійного сигналу, утвореного шляхом обробки прийнятого датчиком сигналу видимого випромінювання у формувачі. З вихідного сигналу змішувача, що подається на перший вхід кольорового відеомонітора, формується комплексне зображення, що визначає розподіл температурного контрасту у межах контуру фронтальної проекції спостережуваного об'єкта. Синхронно з комплексним зображенням на другий вхід кольорового відеомонітора подається дальніший «портрет» спостережуваного об'єкта, що є сформованим на виході когерентно-імпульсної РЛС та визначає розподіл відбивальних характеристик спостережуваного об'єкта в глибину. При цьому відомо, що тепловий та радіолокаційний «портрети» співвідносяться як «позитив» та «негатив», тобто найбільш ефективно випромінюють тепло слабівідбиваючі елементи спостережуваного об'єкта.

Висновки

Пропонована ТС дає можливість встановити взаємозв'язок внутрішньої структури (конструкції) об'єкта з розподілом теплового контрасту на його поверхні та, як наслідок, діагностувати динаміку теплодифузійних процесів, що відбуваються. Синхронне формування комплексного зображення та дальнісного «портрета» забезпечується одночасною синхронізацією тепловізійного, телевізійного та радіолокаційного каналів від синхронізатора та стробуванням тепловізійного каналу шляхом подачі імпульсу тривалістю, рівною тривалості дальнісного «портрета» на керуючий вхід електронного ключа. При цьому просторове узгодження всіх каналів забезпечується за рахунок найбільш широкого миттєвого поля зору радіолокаційного каналу, який визначається шириною діаграми направленості антени.

Література

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография / Ж. Госсорг. – М.: Мир, 1988. – 216 с.
2. Криксунов Л.З. Тепловизоры: Справочник / Л.З. Криксунов, Г.А. Падалко. – К.: Техніка, 1987. – 166 с.
3. Button K. A Better Bomb-Spotter. Detection System Merges Strengths of Infrared With Optics. / K. Button // DefenceNews, Jan. 17, 2011. P. 32.
4. Патент на корисну модель 27117 Україна, Н04N 5/33. Пристрій для формування комплексного зображення / В. Боженко, І. Боженко, П. Кондратов (Україна). № u200613278. – Оубл. 25.10.07. – Бюл. № 17.
5. Боженко В.І. Підвищення інформативності тепловізійної системи шляхом формування композитних зображень / В.І. Боженко, П.О. Кондратов // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС, 2007. – Вип. 8 (66). – С. 16–17.
6. Патент на винахід № 91299 Україна, МПК (2009). Спосіб визначення геометричних характеристик і параметрів руху наземних об'єктів при геомоніторингу і система для його реалізації / А.Зубков, І.Прудіус, Л.Лазько, Д. Мимріков (Україна). – № u200904541. – Оубл. 12.07.2010. – Бюл. № 13.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.Н. Прудіус, Національний університет «Львівська політехніка», Львів.

Способы формирования комплексного многоканального изображения при дистанционном мониторинге тепловых объектов

В.И. Боженко

Проанализированы возможные пути формирования комплексных изображений в тепловизионной системе, на основе проведенного анализа предложен метод определения теплофизических характеристик объектов при дистанционном мониторинге и схема его реализации.

Ключевые слова: тепловизионная камера, тепловизионная система, тепловизионное изображение, комплексное многоспектральное изображение.

The ways of the complex thermal images forming during the thermal objects distant monitoring

V. Bozhenko

The possible ways of the complex image forming are analyzed. on the basis of the conducted Analysis the method of the thermal characteristics identification during the distant monitoring and its realization scheme are offered.

Keywords: thermal camera, thermal system, thermal image, complex multichannel image.