

О. М. МАРКІНА, асистент, НТУУ "КПІ", Київ;

М. О. МАРКІН, канд. техн. наук, доц., НТУУ "КПІ", Київ

АЛГОРИТМИ ПОКРАЩЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ОБ'ЄКТІВ В ІНФРАЧЕРВОНОМУ ДІАПАЗОНІ

Представлено огляд похибок, що впливають на якість тепловізійного зображення. Показано, що використання псевдокольорового тепловізійного зображення замість монохромного дозволяє забезпечити краще сприйняття для аналізу зображення оператором. Представлено сучасні методи обробки телевізійних зображень, що можуть бути використані в тепловізійному - телевізійному каналі спостереження.

Ключові слова: зображення, інфрачервоний діапазон, телевізійна вимірювальний канал, тепловізійний вимірювальний канал.

Вступ. Уникнення виявлення бойової машини, пов'язане головним чином з силуетом машини, загальною видимістю і помітністю як у видимому спектрі, так і в ІЧ-області і радіолокаційному спектрі частот. У видимому спектрі застосовується спеціальне деформуюче забарвлення, маскуючі покриття, архітектура зразка, що знижує ефективну поверхню розсіювання, теплове екранування даху силового відділення і ходової частини. Ці заходи здатні дати задовільні результати щодо виявлення по ІЧ-випромінюванню і відбиттю радіолокаційного випромінювання. Але виявити противника навіть при всіх його зусиллях можливо.

Таким чином можна зробити висновок, що існує необхідність створення нових алгоритмів та методів обробки зображення, які дозволяють суттєво зменшити вплив фону (шумів), розмитості та покращити контрастність зображення і, завдяки цьому, підвищити виявну здатність тепловізійного-телевізійного каналу спостереження. Цим і обґрунтовується актуальність проведення даних досліджень.

Аналіз літературних джерел. Поява в 90-х роках минулого століття неохолоджуваних матричних приймачів випромінювання (МПВ), які працюють в інфрачервоному діапазоні спектра, привела до революційних змін у розвитку теплобачення.

Переваги тепловізорів цього покоління полягають у відсутності оптико-механічної системи сканування і криогенної системи охолодження, що призводить до значного зниження вартості тепловізора, менших розмірів, ваги і енергоспоживання.

Незважаючи на переваги цього покоління тепловізорів, вони, на жаль, мають певні вади. Тепловізори з повноформатними МПВ характеризуються специфічними видами спотворень, які пов'язані з двовимірною дискретизацією зображення і неповним заповненням пікселя чутливою площиною.

Одним з основних факторів, який обмежує принципово досяжні параметри тепловізорів з МПВ, пов'язаний з особливостями дискретної структури МПВ. Для усунення оптичного зв'язку між пікселями відстань між сусідніми пікселями

повинна перевищувати робочу довжину хвилі. Якість зображення, яке формує тепловізор на екрані дисплея, залежить від просторової і енергетичної роздільної здатності [1]. Зображення в площині МПВ, яке сформоване об'єктивом, в процесі перетворення в електричний сигнал за допомогою дискретного приймача випромінювання (ПВ) зазнає спотворення. Частина потоку випромінювання, яка падає на чутливу площадку пікселя, усереднюється в межах його площадки, а друга частина потоку, яка падає на зазори між чутливими площадками, не бере участі у формуванні корисного електричного сигналу. Відбувається втрата енергії випромінювання, яка не може бути компенсована обробкою сигналів в аналоговій або цифровій формі.

Просторова роздільна здатність залежить насамперед від геометричних розмірів пікселів і періодів МПВ, а також від аберацій об'єктива, смуги пропускання електронного тракту, розміру елемента розкладу зображення на екрані дисплея.

Технічні засоби реєстрації оптичного випромінювання і перетворення його в електричні сигнали є спільними як для телевізійних, так і для тепловізійних матриць, що дає можливість застосовувати в тепловізорах сучасні алгоритми обробки телевізійних зображень. Ці фактори значно розширюють сфери використання тепловізійних систем у військовій справі та різних галузях науки і техніки.

Постановка задачі. Однією з основних характеристик оптико-електронних тепловізійних систем спостереження, що визначають ефективність вирішення цільових завдань оператором, є якість сформованого зображення. При цьому якість зображення в значній мірі пов'язана з його роздільною здатністю, а також точністю відображення меж (країв) об'єктів інтересу.

Збільшення роздільної здатності тепловізійних систем спостереження можливо здійснювати апаратними, програмними та апаратно-програмними методами. Розвиток сучасної мікроелектроніки дозволяє успішно застосовувати програмні методи збільшення роздільної здатності.

Цифровій обробці зображень присвячена велика кількість робіт. Тим не менш, у даний час в тепловізійних системах спостереження для поліпшення якості не застосовуються методи збільшення роздільної здатності, засновані на методах суперроздільної здатності та аналізі ситуації, що спостерігається. Відновлення цих меж на основі традиційного використання, наприклад, високочастотних фільтрів, не завжди дозволяє, отримувати бажані результати, або взагалі може призвести до спотворення форми отриманих ліній по відношенню до дійсних (ідеальних) меж зображень об'єктів.

Практично в кожному тепловізійному приладі є системи, що здійснюють коригування недоліків зображення, яке надходить з фото-приймального пристрою (ФПП). Одним із способів коригування, застосовуваних в більшості приладів, є так звана двоточкова корекція, коли дефектні елементи (ДЕ) приймача за умови виведення зображення в реальному часі заміщають сусіднім лівим елементом.

Зокрема, нами розглядалися такі особливості приймачів, що впливають на якість зображення, як розкид характеристик фоточутливих елементів і

дефектність елементів ФПУ (вибиті пікселі).

Всі перелічені методи, що використовувались у роботах [1-5] мають ряд недоліків. Таким чином, є необхідність вироблення універсальних алгоритмів підвищення якості зображення, одержуваного тепловізійними приладами з ФПУ на основі матриць.

Завдання будь-якої системи, що формує зображення, полягає у створенні різкого, чистого зображення, вільного від шумів і спотворень. Якщо на зображенні необхідно виділяти важливі деталі, розмір яких близький до тривалості імпульсної характеристики, то необхідно збільшувати роздільну здатність.

Так, наприклад, з тепловізійної системи літаків і вертольотів приходять знімки досить хорошої якості, але оператори, які вивчають їх, завжди намагаються побачити на них об'єкти спотворені в силу обмеження роздільної здатності камер. По-друге, зображення можуть бути зіпсовані через певний збіг обставин зйомки.

Усунення спотворень належить до завдань відновлення (підвищення різкості) зображень. У теорії та практиці проектування тепловізійних систем важливу роль відіграє моделювання тепловізійних зображень. Яскравість тепловізійних зображень залежить як від розподілу температури по поверхні спостережуваного об'єкта, так і від коефіцієнта випромінювання і орієнтації чутливих елементів його поверхні - його форми. Крім того, якість тепловізійного зображення залежить від передавальних характеристик приймача і всіх ланок тепловізора. Дослідження показали, що тепловізійне зображення - це носій великої кількості інформаційних параметрів. Обробка цих параметрів залишається дотепер складним завданням. Головна відмінність - інформація, закладена в тепловізійних зображеннях, носить в основному статистичний (імовірнісний) характер.

Серед них слід відзначити такі:

- зашумленість корисних сигналів адитивними похибками;
- недостатню контрастність зображень;
- наявність геометричних спотворень у структурі зображення;
- нестационарний характер інформаційної насиченості корисних сигналів;
- прояв специфічних шумів мультиплікативного характеру, пов'язаних з флуктуаціями випромінювально-поглинаючих властивостей виявляються і у досліджуваних об'єктах.

Наслідком зазначеного є те, що при автоматизованій цифровій обробці тепловізійних зображень найчастіше необхідно застосовувати імовірнісні методи.

Основні методи та алгоритми автоматизованої цифрової обробки тепловізійних зображень включають в себе: низькочастотну фільтрацію шумів; нелінійну фільтрацію (спектральну або гомоморфну обробку); виділення контуру об'єкта із збереженням меж його внутрішніх областей; рекурсивне відновлення внутрішньої структури об'єктів; зжимання зображень, елементи розпізнавання на основі обробки статистичних параметрів.

На сьогодні практично відсутні дані при стисненні тепловізійних зображень, спотворених мультиплікативним шумом. Необхідність корекції і ослаблення

впливу цих факторів на тепловізійне зображення, стиснення при їх передачі по каналах зв'язку є в даний час важливим завданням, що вимагає її вирішення.

Проблеми використання цифрової обробки тепловізійних зображень. Отже, можна виділити наступні важливі проблеми в області цифрової обробки тепловізійних зображень, вирішення яких поліпшить якість останніх:

- створення нових оптимальних методів низькочастотної і нелінійної фільтрації шумів;
- фільтрація шумів і сегментування з використанням математичного апарату нечіткої логіки;
- розробка високоефективних (за швидкістю і якістю) методів попередньої обробки і сегментації зображень;
- створення методів виділення контуру об'єкта зі збереженням кордонів областей та рекурсивним відновленням внутрішньої структури;
- розробка ефективних методів стиснення зображень;
- розробка методів виділення і розпізнавання об'єктів зображень.

Шляхи розробки алгоритмів покращення якості зображень у інфрачервоному діапазоні. Пропонуємо наступні шляхи розробки алгоритмів покращення якості зображень у інфрачервоному (ІЧ) діапазоні з метою підвищення вірогідності виявлення цілі.

Покращення розпізнавання об'єкту за створенням бази типових тепловізійних зображень зразків військової техніки (танк, бронетранспортер, вантажна або легкова машина, гармата тощо).

Тому одним із шляхів наукових досліджень і розробок в області ІЧ спостережень є набір статичних даних за ознаками типових тепловізійних картин характерних для певного типу транспортних засобів.

Термограма – це схема елементів зображення з зареєстрованими в них інтенсивностями, що відповідають розподілу температури в системі [1]. Транспортний засіб є структурно складною системою, що має змінні властивості. Опис температурного поля можна здійснити за допомогою тризонної моделі Дж. Мілсума [2]. За цією моделлю першу зону утворюють внутрішні прилади та елементи найбільшого нагріву транспортного засобу. До другої зони входять прилади та всі внутрішні елементи, що знаходяться у бойовій машині. Третьою зоною є кузов, броня та камуфляж бойової машини.

Таким чином розподіл та інтенсивність власного інфрачервоного випромінювання бойової машини визначаються особливістю динамічних процесів, що відбуваються з бойовою машиною.

Практична реалізація різних методів відновлення зображень включає в себе оцінку параметрів спотворення. Одним з практичних методів створення допоміжної інформації є метод сліпої деконволюції. Але цей метод ефективний при наявності деякої послідовності записаних зображень $\{g_m(x, y), m = 1, 2, \dots, M\}$. Зображення послідовності $\{f_m(x, y), m = 1, 2, \dots, M\}$ слід розглядати як такі, що належать до одного класу, тобто при всіх своїх відмінностях мають спільні характеристики. Для порівняння необхідно мати набір еталонних зображень, які ми знімаємо з транспортного засобу $\{\tilde{f}(x, y), m = 1, 2, \dots, M\}$. Ці два набори зображень можуть відрізнитись один від одного, але статичні (геометричні) данні

про бойову машину повинні бути подібними. Оцінка оптичної передаточної функції $|\tilde{H}(v_x, v_y)|$ для $|H(v_x, v_y)|$, що є перетворенням Фур'є функції розсіювання точки $h(x, y)$ здійснюється у вигляді [3]:

$$|\tilde{H}(v_x, v_y)| = \left(\frac{\langle |G_m(v_x, v_y)|^2 \rangle}{\langle |\tilde{F}_m(v_x, v_y)|^2 \rangle} \right)^{1/2} \quad (1)$$

Суть методу сліпої деконволюції полягає в наступному. У процесі спотворення кожен піксель вихідного зображення перетворюється на пляму для випадку розфокусування і в відрізок для випадку простого змазування. Те, за яким законом розмазується або збирається один піксель і називається функцією спотворення або функцією розподілу точки (point spread function PSF). Типові спотворюючі функції представлено на рисунку 1 та рисунку 2. Для моделювання використовуємо програму Matlab.

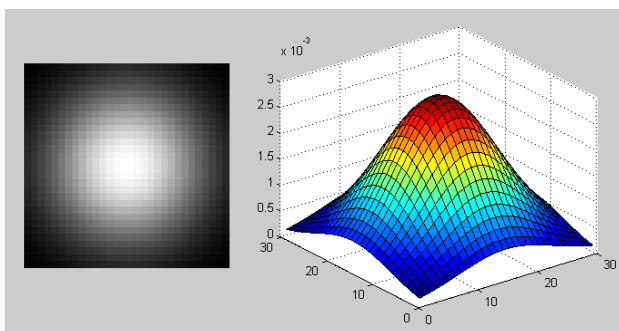


Рис. 1. – PSF у випадку розмиття за Гаусовою функцією

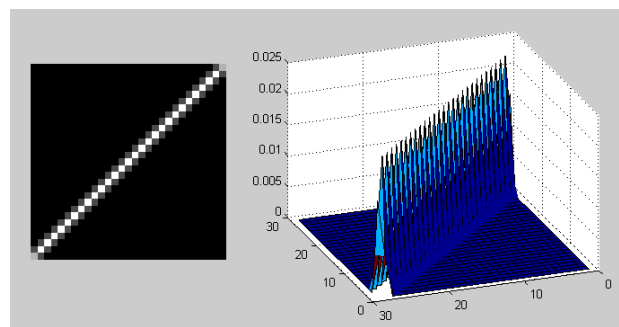


Рис. 2. – PSF у випадку змазування функцією fspecial

Математично для зображення f_c розмірами $M \times N$ і спотворюючої функції h_c розмірами $m \times n$ це записується формулою

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) = \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b h(i, j) f(x+i, y+j), \quad (2)$$

де $a = (m - 1)/2$; $b = (n - 1)/2$.

Операція, зворотна згортанню, називається деконволюцією і рішення такої задачі досить нетривіальне. Метод сліпої деконволюції передбачає, що PSF функція відома лише приблизно за характером видимих спотворень. Принцип досить простий - обирається перше наближення PSF, далі одним з методів робиться деконволюція, після чого за певними критеріями визначається ступінь якості, на основі якої уточнюється функція PSF і ітерація повторюється до досягнення потрібного результату.

Покращення сприйняття оператором кольорової гами зображення також впливає на якість зображення. Існує два аспекти кольору: фізична величина і зорове відчуття [4]. Існує два способи сприйняття кольору. Перший суб'єктивний характеризується світлотою, колірним тоном та насиченістю. При об'єктивному оцінюванні кольору світлоту приймають за яскравістю L , колірний тон за домінуючою довжиною хвилі λ , насиченість за чистотою кольору p [5, 6]. Колір

є тривимірною величиною, тому за основу представлення кольорів візьмемо систему RGB.

Сприйняття кольору оператором є важливим фактором, що сприяє ранньому виявленню та правильному розпізнаванню цілі. Такі дослідження проводились вченими в різних країнах. Пропонуємо використовувати такі кольори: білий, сірий, чорний, синій, голубий, зелений, салатний, жовтий, помаранчевий

Останнім часом для вилучення імпульсних завад широко використовуються медіанні фільтри, який являє собою ковзне вікно, що зазвичай охоплює непарну кількість вибірок N аналогового сигналу $\xi(t)$.

Найпростішим, за визначенням, є одновимірний медіанний фільтр із тривідрахунковим вікном. Для цього фільтра сформульовані основні принципи апаратної реалізації, але для фільтрів вищих порядків вона виявляється дуже складною. Програмна реалізація виявляється суттєво простішою, оскільки для цифрових біполярних сигналів значення вихідного сигналу дорівнює арифметичній сумі. Для реалізації алгоритму швидкого оброблювання значень медіанним фільтром необхідно здійснити ряд дій:

- сформувати матрицю F_0 для перших N зареєстрованих значень згідно вибраної апертури фільтра;
- розрахувати значення F_{0j} для кожного зі стовпчиків матриці F_0 ;
- вибрати необхідне значення з перших N зареєстрованих;
- для матриці F_n визначити значення $F_{(n+j)(n+N-1)}$ та $F_{(n+N-1)(n+j)}$ при $0 \leq j < N$;
- з попередньо розрахованих значень $F_{nj \pm 1}$ вилучити значення $F_{(n-1)(n+j)}$ та $F_{(n+j)(n-1)}$
- до стовпчика $F_{(n+j)}$ матриці F_n додати значення $F_{(n+j)(n+N-1)}$.

Дії продовжуються до тих пір, поки всі значення не будуть оброблені. Такий алгоритм дозволяє у випадку необхідності замість середнього вибрати інший ранжований елемент від мінімального до максимального і може бути достатньо просто реалізований на будь-якому процесорі, в тому числі і на однокристальних мікроконтролерах.

Якщо тепловізійний пристрій апаратно сформований, то для підвищення інформативності зображень та покращення їх якості є сенс застосовувати "конструктивно-неінвазивні" засоби обробки сигналів, сформованих фотоматрицею, а саме:

- методику перетворення МПВ двовимірного зображення в дискретну форму, що дає можливість отримати передавальну функцію приймача, яка враховує розміри пікселя, формат матриці і фактор її заповнення чутливими елементами;
- методику збільшення роздільної здатності зображень програмними методами;
- алгоритмів, спрямованих на виявлення дефектних елементів матриці, що позбавляє зображення артефактів;
- алгоритмів цифрової обробки сигналів, що дозволяють здійснювати стиснення та сегментацію зображень, нелінійну фільтрацію шумів.

Важливим елементом на шляху підвищення розпізнавання тепловізійних зображень є використання кольорових палітр, особливо висококонтрастних. Також слід зазначити, що якість зображення великою мірою залежить від параметрів оптичних вікон тепловізійного пристрою. Вікна мають бути механічно стійкими, однорідними за своїми оптичними параметрами, характеризуватись мінімальними значеннями власного теплового випромінювання. З ціллю зменшення негативного впливу власного випромінювання вікон, можливо застосовувати стабілізацію їх температури.

Висновки

1. Наведено огляд похибок, що впливають на якість тепловізійного зображення.

2. Показано, що використання псевдокольорового тепловізійного зображення замість монохромного дозволяє забезпечити краще сприйняття для аналізу оператором. Враховуючи індивідуальні емоційні характеристики людини-оператора, необхідно забезпечити можливість ручного вибору кольорової гами тепловізійного зображення.

3. Сучасні методи обробки тепловізійних зображень можуть бути використані в тепловізійному - тепловізійному каналі спостереження. При цьому такий фільтр як окремий блок може бути розташований між покупним тепловізором та телевізором. На вхід цього блоку поступають сигнали тепловізора, а після обробки зображення формуються на тепловізійному дисплеї.

Список літератури: 1. Уэбб, С. Физика визуализации изображений в медицине [Текст] / С. Уэбб // Мир. – Москва: 1991. 2. Розенфельд, Л. Г. Основы клинической дистанционной термодиагностики [Текст] / Л. Г. Розенфельд // Здоровье. – Киев: 1988. – С. 224. 3. Бейтс, Р. Восстановление и реконструкция изображений [Текст] / Р. Бейтс, М. Мак-Доннел // Мир. – Москва: 1989. – С. 336. 4. Середенко, М.М. Представление цвета в искусственно созданных цветовых схемах и в психофизике человека [Текст] / М. М Середенко, А.Е Якунинская // Оптический журнал. - 2000. - Т. 67, №8. – С. 3-13. 5. Бехтір, О. В. Застосування сучасних інформаційних технологій забезпечення точного дозування світлового потоку при латеральній світло терапії / О. В. Бехтір // Наукові праці КМАПО: «Інформаційні технології в охороні здоров'я та практичній медицині». – 2001. – С. 21-24. 6. Міхеєнко, Л. А. Оцінка величини ефективного засвічування при латеральній світлотерапії / Л. А. Міхеєнко, О. В. Бехтір // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2000. - №2. – С. 89-91.

Bibliography (transliterated): 1. Uebbs, S. (1991). Fizika vizualizacii izobrazhenij v medicine. Mir. Moskva. 2. Rozenfeld, L. G. (1988). Osnovy klinicheskoj distancionnoj termodiagnostiki. Zdorove. Kiev, S. 224. 3. Bejts, R., Mak-Donnel, M. (1989). Vosstanovlenie i rekonstrukciya izobrazhenij. Mir. Moskva, 336. 4. Seredenko, M. M., Yakuninskaya A. E. (2000). Predstavlenie cveta v iskusstvenno sozdannyx cvetovyx sxemax i v psixofizike cheloveka. Opticheskij zhurnal, 67, 8, 3-13. 5. Bextir, O. V. (2001). Zastosuvannya suchasnix informacijnix texnologij zabezpechennya tochnogo dozuvannya svitlovogo potoku pri lateralnij svitlo terapii. Naukovi pracі KMAPO: «Informacijni texnologii v oxoroni zdorov'ya ta praktichnij medicini», 21-24. 6. Mixeenko, L. A., Bextir, O. V. (2000). Ocinka velichini effektivnogo zasvichuvannya pri lateralnij svitloterapii. Naukovi visti NTUU «KPI», 2, 89-91.

Надійшла (received) 25.05.2014