

УДК 621.397

ЗМЕНШЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО ШУМУ НА ТЕРМОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

Шликов Владислав Валентинович

v.shlykov@kpi.ua

Забіло Ярослав Сергійович

yarzab55@gmail.com

Кафедра біомедичної інженерії

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Анотація – У роботі розглянуто модуль програмно-електронної обробки термографічних зображень на основі періодичної корекції калібрувальної таблиці в залежності від зміни зовнішніх умов або температури фотоприймача. Основною проблемою, яку необхідно вирішити для підвищення співвідношення сигнал/шум в термографічних системах, є вирівнювання чутливості в окремих елементах фотоприймальної матриці. Розроблений модуль програмно-електронної обробки використовує для корекції адитивної складової шуму калібрувальну матрицю в залежності від діапазону температур, у якому проходять вимірювання. Застосування алгоритму вирівнювання геометричного шуму дає можливість досягти еквівалентної шуму різниці температур тепловізора не більш ніж 0,1 К. Для апробації розробленого алгоритму було виконано експериментальні дослідження із видаленням серцем свині з використанням тепловізора FLIR i7 та FLIR ThermoCAM E300. Дослідження з використанням тепловізора FLIR i7, який має точність вимірювання температури до 0,5°C, показали, що вирівнювання геометричного шуму може ефективно застосовуватися для підвищення температурного контрасту термографічного зображення. Підвищення у 2 рази температурного контрасту і роздільної здатності термографічного зображення дає можливість візуалізувати в умовах штучного зігрівання ділянки коронарної судини на поверхні міокарда. Достовірність проявлення нових елементів на термографічному зображенні після двократного застосування алгоритму підтверджується послідовно отриманими тепловими зображеннями, що реєструвалися тепловізором FLIR ThermoCAM E300, який має більшу точність до 0,1°C і дозвіл фотоприймальної матриці.

Ключові слова: теплобачення, тепловізор, фотоприймальна матриця, електронний модуль обробки, цифрова обробка термографічних зображень, фільтрація шуму.

I. ВСТУП

У сучасних термографічних приладах використовуються фотоприймальні матриці, при цьому розгортка поля огляду може здійснюватися паралельним, послідовним та комбінованим способами [1, 2]. В таких термографічних системах швидкість сканування отриманого зображення по поверхні фоточутливого елемента в n -раз менше за відповідну швидкість сканування одноелементним приймачем. Внаслідок цього смуга частот наступного електронного тракту обробки сигналу може бути зменшена у n -разів, а геометричний шум у першому наближенні зростає в $n^{1/2}$ -разів.

Основною проблемою, яку необхідно вирішити для підвищення співвідношення сигнал/шум в нескануючих термографічних системах, є вирівнювання чутливостей окремих елементів у фотоприймальній матриці [3, 4].

Отримане після обробки зображення може бути монохромним (чорно-білим) або кольоровим в залежності від інтерпретації електронікою інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, що отримується з об'єктиву і проходить через фотоприймальну матрицю.

II. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи – розробка і апробація модулю програмно-електронної обробки термографічних зображень для зменшення геометричного шуму засобами програмної обробки сигналу, що дають можливість підвищити роздільну здатність і збільшити температурний контраст зображення не менш ніж у 2 рази.

III. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для розроблення алгоритму програмно-електронної обробки термографічних зображень об'єктів, у якому обраховується

калібрувальна таблиця для періодичної корекції температур, було використано програмне середовище Microsoft Visual C++. Для апробації програмного алгоритму вирівнювання геометричного шуму було виконано експериментальні дослідження із видаленням серцем свині з використанням тепловізорів FLIR i7 та FLIR ThermaCAM E300, які мають точність $0,1^{\circ}\text{C}$ і $0,5^{\circ}\text{C}$ та дозвіл фотоприймальної матриці 140×140 і 320×240 пікселів, відповідно.

IV. АЛГОРИТМ ОБРОБЛЕННЯ ТЕРМОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Причиною виникнення геометричного шуму може бути розкид характеристик фотоприймальних елементів у каналі реєстрації теплового випромінювання, ключових транзисторів у електронному модулі обробки, каналі накопичення сигналу та ін.:

$$F_{ij}(T) = S_{ij}\Phi(T_{\phi}) + V_{ij}, \quad (1)$$

де $\Phi(T_{\phi})$ – потік теплового ІЧ-випромінювання за температури фону T_{ϕ} ; S_{ij} – ефективна вольт-ватна чутливість фотоприймального елемента; V_{ij} – ефективна темнова напруга елемента.

У ідеальному випадку для однорідного теплового потоку $\Phi(T_{\phi}) = \text{const}$ маємо усі значення функції $F_{ij}(T)$ однаковими. Проте, у реальних умовах, у значеннях $F_{ij}(T)$, що вимірюються термографічною системою, спостерігається розкид значень, середньоквадратичне значення якого зазвичай становить кілька десятків відсотків. З виразу (1) витікає, що зазначена неоднорідність інтенсивностей теплового ІЧ-випромінювання описується різницею між адитивною V_{ij} та мультиплікативною S_{ij} складовими поля.

Розроблений алгоритм програмно-електронної обробки термографічних зображень на основі періодичної корекції калібрувальної таблиці містить наступні етапи (рис. 1):

1. Прийом та посилення сигналів

теплового інфрачервоного (ІЧ) випромінювання до масштабу, який необхідний для подальшого аналого-цифрового перетворення.

2. Аналого-цифрове перетворення масиву даних, що містить оцифровані електронним модулем обробки сигналу, кадри теплового зображення.

3. Вирівнювання геометричного шуму, який виникає у каналі приймача ІЧ випромінювання, на основі періодичної корекції калібрувальної таблиці в залежності від зміни зовнішніх умов або температури.

Теорія лінійних перетворень [5] дає коректний вираз для перерахунку неоднорідного поля $F_{ij}(T)$ у однорідне теплове поле $Q_{ij}(T)$, без втрати інформаційної ємності вихідного поля. Для визначення корегуючого мультиплікативного коефіцієнту необхідно виміряти масиви значень $F_{ij}(T)$ при двох температурах T_1 і T_2 об'єкта, а потім перерахувати значення функції $F_{ij}(T)$ при довільній температурі T_n за такою формулою:

$$Q_{ij}(T) = \frac{1}{N} [F_{ij}(T_n) - A_{ij}] \frac{\sum_{ij}^N F_{ij}(T_2) - \sum_{ij}^N F_{ij}(T_1)}{F_{ij}(T_2) - F_{ij}(T_1)} + \overline{A_{ij}}, \quad (2)$$

де $A_{ij} = F_{ij}(T_1)$ – адитивна складова поля (темнові струми),

$\overline{A_{ij}} = \frac{1}{N} \sum_{ij}^N F_{ij}(T_1)$ – середнє значення адитивної складової поля,

$\frac{1}{N} \sum_{ij}^N F_{ij}(T_1), \frac{1}{N} \sum_{ij}^N F_{ij}(T_2)$ – середні значення фотовідповіді за масивом $F_{ij}(T_1)$ і $F_{ij}(T_2)$ при двох температурах T_1 і T_2 об'єкта, N – число елементів фотоприймальної матриці.

З виразу (2) видно, що вирівнювання геометричного шуму на термографічних зображеннях проводиться у три етапи:

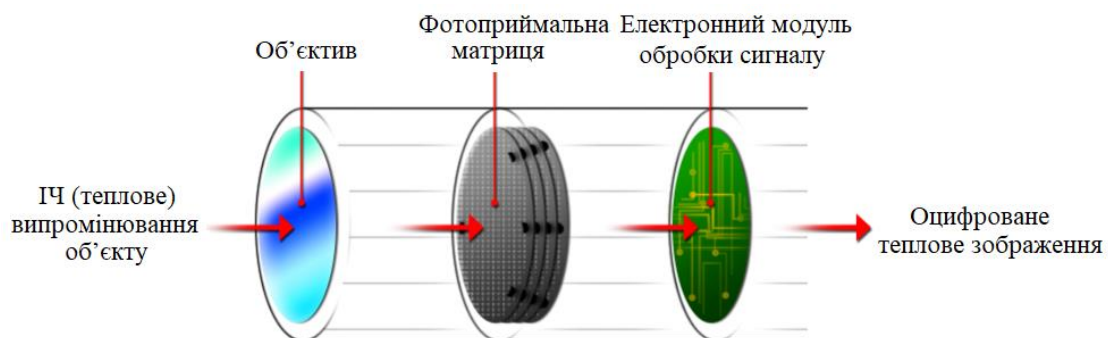


Рисунок 1 – Схема електронного модуля обробки ІЧ сигналу

1. На першому із значень $F_{ij}(T_n)$, що вимірюються термографом, віднімається адитивна складова A_{ij} (темнові струми).

2. На другому нормується вольт-ватна чутливість S_{ij} шляхом множення функції теплового поля на мультиплікативний коефіцієнт:

$$M_{ij} = \frac{1}{N} \frac{\sum_{ij}^N F_{ij}(T_2) - \sum_{ij}^N F_{ij}(T_1)}{F_{ij}(T_2) - F_{ij}(T_1)}. \quad (3)$$

де N – число елементів фотоприймальної матриці $[i, j]$.

3. Для мультиплікативних коефіцієнтів M_{ij} застосовується обмеження зверху $M_{ij} = M_{max}$, якщо $M_{ij} > M_{max}$, що обумовлено мерехкотінням точок на тепловому зображенні, які мають дуже малу токову чутливість при збільшенні рівня геометричних шумів $M_{ij} > M_{max}$.

Для визначення характеристик матриці фотоприймача у складі тепловізора достатньо провести вимірювання різниці температур ΔT , які еквівалентні шуму на нульовій просторовій частоті, за формулою:

$$T_n = \overline{A_{ij}}(T_2 - T_1)/\overline{y}, \quad (4)$$

де $\overline{A_{ij}}$ – середня по матриці фотоприймача напруга шуму;

$\overline{y}$ – середній сигнал по всіх елементах матриці фотоприймача за різниці температур об'єктів $\Delta T = T_2 - T_1$.

Під час тестових вимірювань об'єкти мали температури $T_1 = 300K$ і $T_2 = (T_1 + 5)K$, фокусна відстань від об'єктива – 30 мм; відносний отвір апертури 1:1,5, кадрова

частота 50 Гц.

Основний внесок у значення величини шуму $\overline{A_{ij}}$, що вимірюється, давали завади від роботи мотора для регулювання температури охолоджуючої рідини у балоні мікрокріогенної системи. Вимірювання показали, що значення різниці температур, які еквівалентні шуму в декількох режимах роботи матриці фотоприймача, не перевищують значення $T_1 = 0,5K$, що сприяє отриманню достовірної калібрувальної таблиці M_{ij} в залежності від зміни температури фотоприймача.

У експериментальних дослідженнях з видаленням серцем свині було використано тепловізора FLIR i7 [6]. Технічною особливістю цього тепловізора є застосування у електронному модулі обробки сигналу програмованої логічної інтегральної схеми (ПЛІС) Altera Cyclone IV з інтегрованим аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП) із дельта-сигма модуляцією [7]. Основна теорія використання дельта-сигма модуляції показана на рисунку 2.

У електронному модулі обробки (рис. 2) неперервний у часі сигнал $x(t)$ подається на вхід схеми ПЛІС, а результуючий вихідний сигнал $y(z)$ є дискретним у часі цифровим сигналом. Дельта-сигма модулятор (ДСМ) першого порядку містить контур зворотного зв'язку, який віднімає сигнал зворотного зв'язку F_{ij} від вхідного сигналу (дельта-функція), а потім ці від'ємності підсумовуються в інтеграторі (сигма-функція).

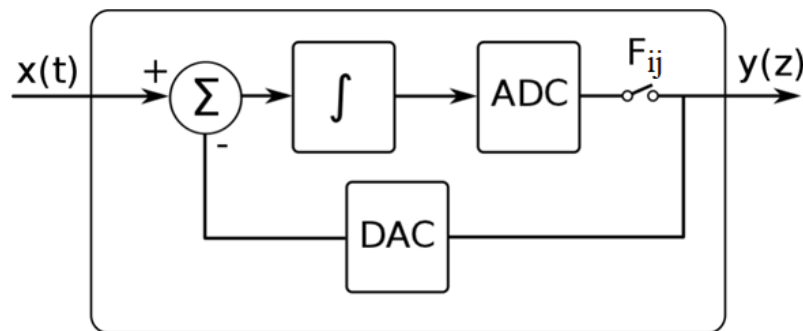


Рисунок 2 – Електронний модуль обробки сигналу з дельта-сигма модулятором першого порядку: $x(t)$ – сигнал на вході АЦП, Σ – суматор сигналу на вході $x(t)$ та сигналу зворотного зв'язку F_{ij} , $\int$ – інтегратор сигналу з постійною часу t_s , ADC – аналого-цифровий перетворювач (АЦП), DAC – цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) у каналі зворотного зв'язку, $y(z)$ – дискретний цифровий сигнал на виході.

Постійна часу інтегратора t_s задається програмно, але за теорією теорія дельта-сигма модуляції обирається у 10 разів більша за тривалість вхідного імпульсу. Застосування контуру зворотного зв'язку на основі цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) призводить до передачі на вхід суматора функцій дельта-сигма модулятора першого порядку:

$$H(z)_{\text{сигнал}} = 1; H(z)_{\text{шум}} = 1 - z^{-1} \quad (5)$$

де z – дискретний цифровий сигнал у каналі зворотного зв'язку.

Функції передачі $H(z)_{\text{сигнал}}$ і $H(z)_{\text{шум}}$ математично описують амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) для фільтрації високочастотного шуму в каналі оброблення сигналу, а для фільтрації шуму квантування, який знаходиться у частотному діапазоні корисного сигналу $x(t)$, необхідно розглянути інший аспект дельта-сигма модуляції, що пов'язаний з передискретизацією.

За допомогою такої функції передискретизації у поєднанні з ефектом фільтрації високочастотних шумів у каналі обробки сигналу, можна отримати розподіл шуму на вищих частотах (рис. 3). Цей метод фільтрації у теорії використання дельта-сигма модуляції називається формуванням шуму [8].

За допомогою передискретизації можливе значне посилення відношення сигнал/шум (SNR) становить 3 дБ на октаву. Використовуючи дельта-сигма модуляцію першого порядку, це посилення відношення SNR підвищується до 9 дБ на октаву (рис. 3, б).

Отже, після проходження вихідного сигналу $x(t)$ через весь шум квантування знаходиться в потрібному частотному діапазоні. Він рівномірно розподіляється по спектру сигналу, що дає можливість фільтрації такої завади шляхом застосування алгоритму вирівнювання геометричного шуму.

Тепер розглянемо спосіб підключення тепловізорів FLIR i7 та FLIR ThermoCAM E300 до персонального комп'ютера. Логіка роботи електронного модулю обробки сигналу дає можливість розглядати АЦП (ADC) у складі програмованої логічної інтегральної схеми Altera Cyclone IV (FPGA) як зовнішній периферійний пристрій (FLIR i7), що підключено за допомогою UART/USB інтерфейсу до персонального комп'ютера (PC) з програмним забезпеченням, яке реалізує обробку термографічних зображень на основі алгоритму фільтрації геометричного шуму (рис. 4).

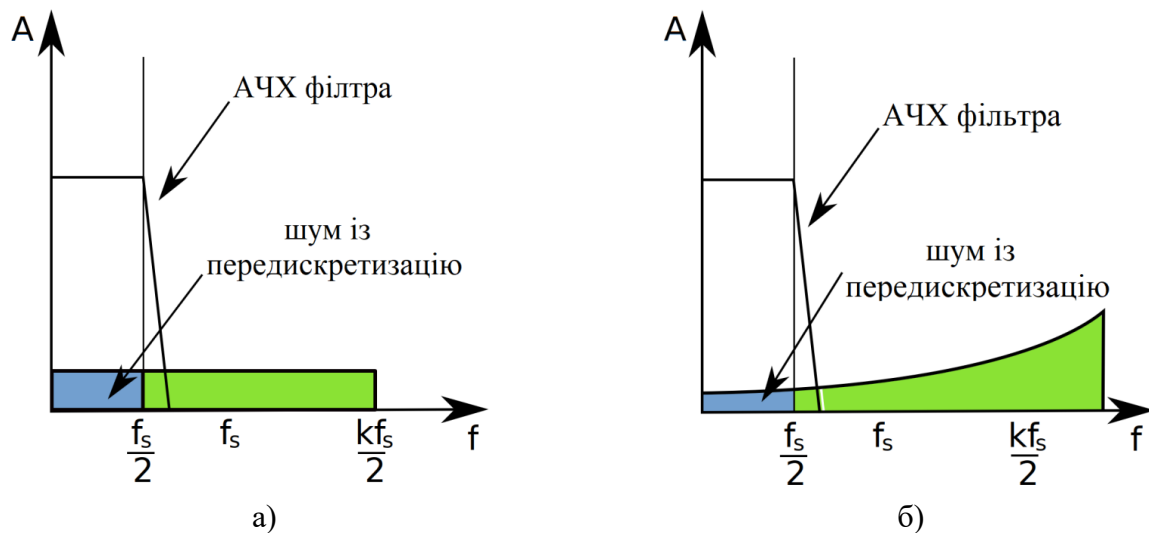


Рисунок 3 – Застосування функції передискретизації шуму: а) АЧХ сигналу після застосування функції передискретизації; б) АЧХ сигналу після застосування функції передискретизації у поєднанні з ефектом фільтрації високочастотних шумів.

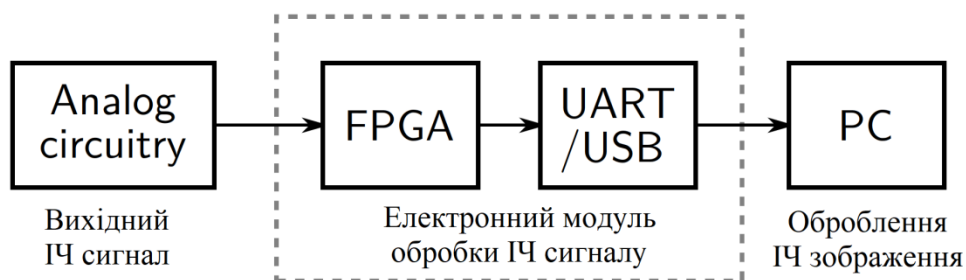


Рисунок 4 – Функціональна схема підключення тепловізора FLIR i7 до персонального комп'ютера: FPGA – схема ПЛІС з АЦП, UART/USB – послідовний інтерфейс підключення тепловізора FLIR i7, PC – персональний комп'ютер, у якому реалізовано алгоритм фільтрації.

Важливою характеристикою АЦП є інтегральна нелінійність (INL), яка є мірою відхилення передатної функції $H(z)$ від прямої лінії, що вказує на помилки зміщення та посилення сигналу. Цей параметр був виміряний з використанням різних частот вхідного сигналу від 500 Гц до 10 кГц і частоти дискретизації 50 кГц із коефіцієнтом передискретизації 1024. Визначена інтегральна нелінійність АЦП (ADC) при $f_s = 10$ кГц дорівнює $INL = 3$ мВ, що є прийнятним для основних вимірювань, оскільки при цьому паразитний вільний динамічний діапазон (SFDR) проявляється у спектрі Фур'є тільки при посиленні 60 дБ на октаву.

Отже, використання програмно-електронної обробки сигналу під час реєстрації ІЧ зображень тепловізором FLIR i7 дасть змогу підвищити їх контрастність і дозволить для виявлення артефактів розподілу температурного поля.

V. ЗАСТОСУВАННЯ МОДУЛЮ ПРОГРАМНО-ЕЛЕКТРОННОЇ ОБРОБКИ У ДОСЛІДЖЕННЯХ

Видалене серце свині було охолоджено до температури 24°C і потім поступово зігрівалось до температури 35°C шляхом введення у коронарну артерію перфузату температурою 37°C .

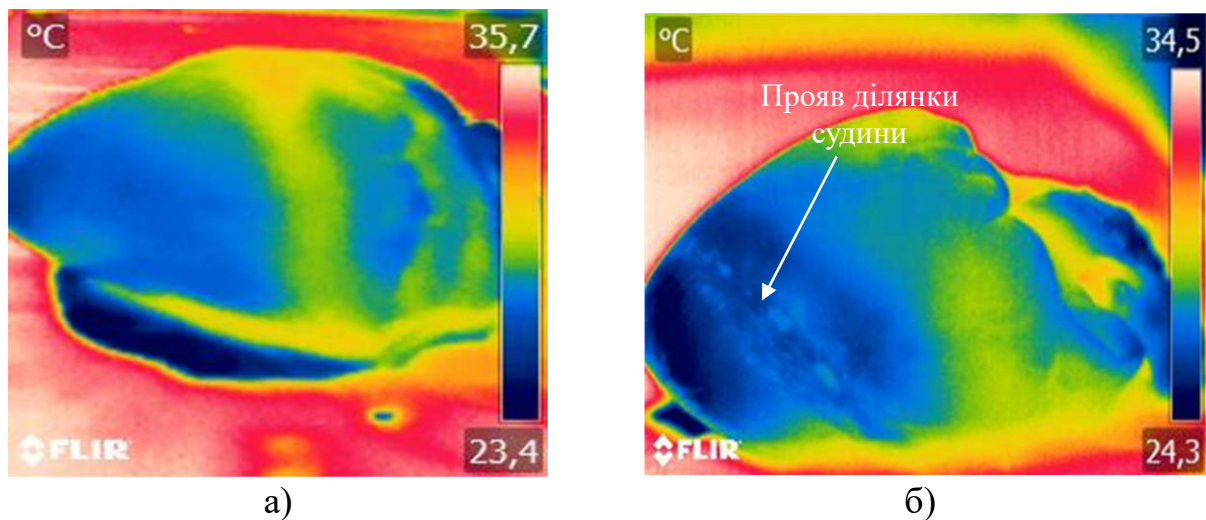


Рисунок 5 – Підвищення контрасту зображення шляхом застосування алгоритму вирівнювання геометричного шуму: а) вихідне термографічне зображення має 140х140 пікселів; б) двократне застосування алгоритму дає зображення 240х240 пікселів.

Теплове випромінювання, що реєструється тепловізором від поверхні видаленого серця в інфрачервоному спектрі 7-13 мкм, дає можливість безконтактно визначати градієнт температур ΔT безпосередньо між перфузатом і міокардом з точністю до $0,5^{\circ}\text{C}$ в залежності від чутливості та роздільної здатності матриці фотоприймача.

тепловізора FLIR i7, який має ІЧ-дозвіл фотоприймальної матриці 140х140 пікселів, показали, що вирівнювання геометричного шуму може ефективно застосовуватися для суттєвого підвищення температурного контрасту термографічного зображення, який дає додаткову якісну оцінку та діагностичну інформацію про об'єкт дослідження (рис. 5).

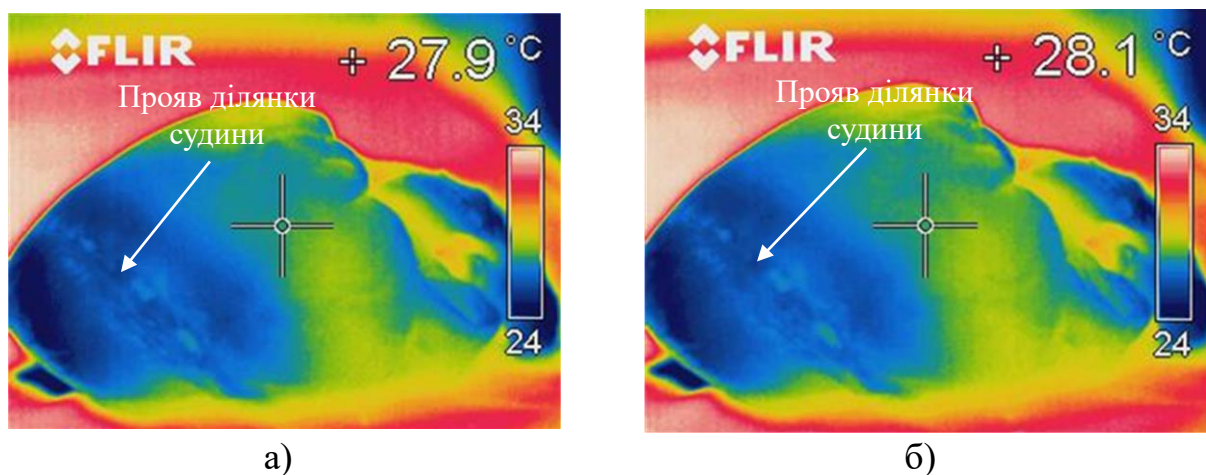


Рисунок 6 – Підвищення контрасту зображення шляхом застосування алгоритму вирівнювання геометричного шуму: а) вихідне термографічне зображення має 140х140 пікселів; б) двократне застосування алгоритму дає зображення 240х240 пікселів.

Експериментальні дослідження впливу геометричного шуму та методів його усунення на якість зображення для

Дослідження також показали, що при значному коефіцієнті чутливості у діапазоні вимірювання значно зростає адитивна

складова поля A_{ij} (темнові струми), тому застосування алгоритму вирівнювання геометричного шуму необхідно проводити декілька разів.

Достовірність проявлення нових елементів на термографічному зображенні (рис. 5, б) після двократного застосування алгоритму вирівнювання геометричного шуму та підвищення контрасту підтверджується послідовно отриманими тепловими зображеннями, що реєструвались при температурах 27,9°C і 38,1°C тепловізором FLIR ThermoCAM E300, який має більшу точність до 0,1°C і дозвіл фотоприймальної матриці 320x240 пікселів (рис. 6).

Отже, підвищення у 2 рази температурного контрасту термографічного зображення дало можливість візуалізувати в умовах штучного зігрівання ділянки коронарної судини на поверхні міокарда, при цьому технічні характеристики і чутливість електронного модуля залишались не змінними. Крім того, дозвіл вихідного термографічного зображення (рис. 5, а) було збільшено від 140x140 пікселів до 240x240 пікселів після двократного застосування алгоритму вирівнювання геометричного шуму.

VI. ВИСНОВКИ

Розроблений модуль програмно-електронної обробки термографічних зображень на основі періодичної корекції калібрувальної таблиці в залежності від зміни зовнішніх температурних умов дає можливість у реальному масштабі часу отримувати картину розподілу температурного поля в ІЧ діапазоні довжин хвиль з високою чіткістю зображення.

Достовірність проявлення нових елементів на термографічному зображенні, яке реєструється тепловізором FLIR i7 з точністю 0,1°C і дозволом фотоприймальної матриці 140x140 пікселів, після двократного застосування алгоритму вирівнювання геометричного шуму в електронній системі, підтверджується отриманими тепловими зображеннями об'єкту, що реєструвались

тепловізором FLIR ThermoCAM E300, який має більшу точність до 0,1°C і дозвіл фотоприймальної матриці 320x240 пікселів. У більш широкому плані алгоритм вирівнювання геометричного шуму може ефективно застосовуватися скрізь, де температурний контраст дає додаткову інформацію про об'єкт.

Фінансування. Дане дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Згода на публікацію. Усі автори, які мають відношення до рукопису, дали згоду на публікацію цієї праці.

ORCID ID та внесок авторів.

0000-0002-0424-3021 (A, B, D) Yaroslav Zabilo

(A, B, D) Yaroslav Zabilo

0000-0001-8836-4658 (D, E, F) Vladyslav Shlykov

A – концепція та дизайн роботи, B – пошук матеріалів, C – аналіз існуючих досліджень, D – написання статті, E – критичний огляд статті, F – остаточне затвердження статті.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дзіковська Ю.М. Інформаційно-технічне забезпечення вимірювань розподілу температури теплового поля об'єктів промисловості та медицини / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук; Дзіковська Юлія Миколаївна. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2017. – 22 с. Електронний ресурс: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1771/arefdzikovskaym.pdf>
2. Иванов В.П. Моделирование и оценка современных тепловизионных приборов / В.П. Иванов, В.И. Курт, В.А. Овсянников, В.Л. Филиппов. – Казань: Изд-во НПО «Государственный институт прикладной оптики», 2006. – 594 с.
3. Бурштінський М.В., Хай М.В., Харчишин Б.М. Давачі / М.В. Бурштінський, М.В. Хай, Харчишин Б.М. – 2-ге вид. доповн. – Львів: ТзОВ «Простір М», 2014. – 202 с. Електронний ресурс: https://www.svaltera.ua/upload/catalogs/davachi_2013.pdf
4. Рогальский А. Инфракрасные детекторы / А. Рогальский. – Новосибирск: Наука, 2003. – С. 636
5. Маринич О.В. Скінченновимірний лінійний аналіз. Теорія визначників (Δ): Навчальний посібник / Маринич О.В., Проскурін Д.П. – Київ: Центр навчальної літератури, 2014. – 209 с. Електронний ресурс: <https://do.csc.knu.ua/marynych/wp->

[content/uploads/sites/2/2023/01/LN_final_with_hyperrefs11.pdf](#)

6. Manual: FLIR ix series / FLIR System, Publ. No.:a571. – 2011. Електронний ресурс:

[http://support.flir.com/DocDownload/Assets/dl/t559733-ru-ru\\$a571.pdf](http://support.flir.com/DocDownload/Assets/dl/t559733-ru-ru$a571.pdf)

7. Technical Brief 20110419 from MLE: Integrated ADC for Altera Cyclone-IV Devices / Missing Link Electronics. – 2011. Електронний ресурс:

<https://www.missinglinkelectronics.com/wp-content/uploads/2012/08/MLE-TB20110419.pdf>

1. 8. Daniel Piši. FPGA Based Delta Sigma Analog to Digital Converter / Sborník prací konference a soutěže Student EEICT 2012. – Brně: FEKT VUT, 2012. Електронний ресурс: https://www.fekt.vut.cz/conf/EEICT/archiv/sborniky/EEICT_2_012_sbornik/03doktorskeprojekty/02zpracovanisignaluobrazu/dat/04-xpsid00.pdf.

REFERENCES

[1]. Yu.M. Dzikovska. Information and technical support for measurements of the temperature distribution of the thermal field of industrial and medical facilities / Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences; Dzikovska Yulia Mykolayivna. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2017. 22 p. Available: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1771/arefdzikovskaym.pdf>

[2]. Ivanov V.P. Modeling and evaluation of modern thermal imaging devices / V.P. Ivanov, V.I. Kurt, V.A. Ovsyannikov, V.L. Filippov. Kazan: Publishing house of the Scientific and

Production Association "State Institute of Applied Optics", 2006. 594 p..

[3]. Burshtynskiy M.V., Khai M.V., Kharchyshin B.M. Davachi / M.V. Burshtynskiy, M.V. Khai, Kharchyshin B.M. / 2nd ed. supplemented. Lviv: LLC "Prostir M", 2014. 202 p. Available: https://www.svaltera.ua/upload/catalogs/davachi_2013.pdf

[4]. Rogalsky A. Infrared detectors / A. Rogalsky. Novosibirsk: Nauka, 2003. 636 p.

[5]. Marynych O.V. Partial-dimensional linear analysis. Theory of determinants (Δ): Textbook / Marynych O.V., Proskurin D.P. Kyiv: Center for Educational Literature, 2014. 209 p. Available:

https://do.csc.knu.ua/marynych/wp-content/uploads/sites/2/2023/01/LN_final_with_hyperrefs11.pdf

[6]. Manual: FLIR ix series / FLIR System, Publ. No.:a571. – 2011. Available:

[http://support.flir.com/DocDownload/Assets/dl/t559733-ru-ru\\$a571.pdf](http://support.flir.com/DocDownload/Assets/dl/t559733-ru-ru$a571.pdf)

[7]. Technical Brief 20110419 from MLE: Integrated ADC for Altera Cyclone-IV Devices / Missing Link Electronics. – 2011. Available: <https://www.missinglinkelectronics.com/wp-content/uploads/2012/08/MLE-TB20110419.pdf>

[8]. Daniel P. FPGA Based Delta Sigma Analog to Digital Converter / Sborník prací konference a soutěže Student EEICT 2012. Brně: FEKT VUT, 2012. Available: https://www.fekt.vut.cz/conf/EEICT/archiv/sborniky/EEICT_2_012_sbornik/03doktorskeprojekty/02zpracovanisignaluobrazu/dat/04-xpsid00.pdf

UDC 621.397

REDUCING GEOMETRIC NOISE IN THERMOGRAPHIC IMAGES

Vladyslav Shlykov

v.shlykov@kpi.ua

Yaroslav Zabilo

yarzab55@gmail.com

Department of Biomedical Engineering

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

Abstract – The paper considers a module for software-electronic processing of thermographic images based on periodic correction of the calibration table depending on changes in external conditions or the temperature of the photodetector. The main problem that needs to be solved to increase the signal-to-noise ratio in thermography systems is the equalization of sensitivity in individual elements of the photodetector matrix. The developed software-electronic processing module uses a calibration matrix to correct the additive noise component depending on the temperature range in which measurements are made. The use of the geometric noise equalization algorithm makes it possible to achieve an equivalent noise difference of the thermal imager temperature of no more than 0.1K. To test the developed algorithm, experimental studies were performed with a removed pig heart using the FLIR i7 and FLIR ThermoCAM E300 thermal imagers. Studies using the FLIR i7 thermal imager, which has a temperature measurement accuracy of up to 0.5°C, showed that geometric noise equalization can be effectively used to increase the temperature contrast of the thermographic image. The 2-fold increase in temperature contrast and resolution of the thermographic image makes it possible to visualize a section of the coronary vessel on the surface of the myocardium under artificial warming. The reliability of the appearance of new elements in the thermographic image after two applications of the algorithm is confirmed by the sequentially obtained thermal images recorded by the FLIR ThermoCAM E300 thermal imager, which has a much higher accuracy of up to 0.1°C and a resolution of the photodetector matrix.

Keywords – thermal imaging, thermography, photodetector matrix, electronic processing module, digital processing of thermographic images, noise filtering.