

УДК 621.384.3

В.І. Боженко<sup>1</sup>, П.О. Кондратов<sup>2</sup><sup>1</sup>Львівський інститут Сухопутних військ, Львів<sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка», Львів

## ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ ШЛЯХОМ ФОРМУВАННЯ КОМПЗИТНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

*У статті розглянуті питання підвищення інформативності тепловізійної системи шляхом застосування композитних зображень. Пропонується формувати композитне зображення з теплового та контурів видимого зображення об'єкту спостереження. Запропонований алгоритм обробки, що дозволяє формувати контурне зображення в реальному часі.*

*композитне зображення, тепловізійна система, теплове зображення*

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз досліджень.** Тепловізійні системи (ТС) займають одне з чільних місць серед засобів неруйнуючого контролю, сприйняття та обробки інформації. Проте теплове зображення досліджуваного об'єкту зазвичай є недостатньо інформативним, оскільки істотно відрізняється від видимого, а температурні перепади створюють контрасти однорідних поверхонь.

Тому у деяких ТС з метою підвищення точності координатної прив'язки елементів теплової картини вважається за доцільне теплове зображення доповнювати видимим, яке виводиться на окремий монітор, або відтворюється по черзі чи паралельно (у поліекранному режимі) з тепловим, або накладається на теплове, для чого у склад ТС вводять допоміжний канал видимого діапазону [1].

Але окреме відтворення не дає достатньої прив'язки до об'єкту; суміщення ж монохромних видимого і теплового зображень руйнує цілісність сприйняття.

Тому наступним кроком в напрямку підвищення інформативності ТС є формування композитних (складених) зображень, які створюють шляхом накладання зображень, сформованих у різних ділянках спектру випромінення. Насамперед це стосується зображень, отриманих у видимому та інфрачервоному діапазонах. Композитні зображення можуть формуватися як:

– "фрагментарні", отримані шляхом об'єднання окремих фрагментів, сформованих у різних зонах спектру, відповідно до очікуваного випромінення досліджуваного об'єкту;

– "контурні", які є комбінацією контурів зображення видимого діапазону і псевдокольорового (розфарбованого) теплового зображення;

– "напівпрозорі", в яких одне із зображень є фоном для інших, а їх комбінація виконується у відповідності з пріоритетом, визначеним (напри-

клад, оператором) для кожного з них.

Використання лише контурів видимого зображення є особливо зручним, позаяк у цьому випадку не відбувається маскування теплового.

На даний час відома велика кількість алгоритмів виділення контурів – як узагальнених [2], так і таких, що стосуються саме тепловізійних зображень [3] (різновидом яких є зображення, що формує ТС). Деякі з них настільки складні, що їх робота в реальному часі, що особливо важливо при спостереженні рухомих об'єктів, є досить проблематичною (зокрема, через недостатні обчислювальну потужність мікропроцесорів та швидкодію пам'яті).

Відтак метою статті є визначити перелік у достатній мірі простих алгоритмів, які можуть бути застосовані для гомоморфної обробки видимого зображення у ТС.

### Основна частина

На початку обробки з метою кращої адаптації до структури і якості початкового зображення може бути застосована операція лінійного підсилення-обмеження вхідного сигналу:

$$U_{\text{вих}} = \begin{cases} U_{\text{max}}, & \text{якщо } U_{\text{вх}} \geq U_{\text{max}}; \\ \Pi(U_{\text{вх}}) + U_0, & \text{якщо } U_{\text{min}} < U_{\text{вх}} < U_{\text{max}}; \\ 0, & \text{якщо } U_{\text{вх}} \leq U_{\text{min}}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $U_{\text{вих}}$ ,  $U_{\text{вх}}$  – відповідно, вихідний та вхідний відео-сигнали;  $U_{\text{min}}$ ,  $U_{\text{max}}$  – відповідно, мінімальне і максимальне значення напруг, які визначають динамічний діапазон вхідного підсилювача;  $\Pi$  – певний оператор перетворення;  $U_0$  – постійна складова.

При цьому оператор перетворення  $\Pi$  може бути як лінійним, так і нелінійним (зокрема, експоненціальним). Після цього шляхом порівняння вихідного сигналу з певним порогом детектування  $R$  може бути сформований масив бінарного зображення  $[B_{xy}]$ :

$$[B_{xy}]_b = \begin{cases} 1, & \text{якщо } B_{xy} > R, \text{ або } B_{xy} = R \neq 0; \\ 0, & \text{якщо } B_{xy} \leq R, \text{ або } B_{xy} = R = 0, \end{cases} \quad (2)$$

же  $B_{xy}$  – яскравість елемента розкладу зображення (пікселя) з координатами  $x, y$ .

Подібна процедура дозволяє також виявити пікселі, що відповідають контурам зображення:

$$[B_{xy}]_e = \begin{cases} 1, & \text{якщо } B_{xy} > R; \\ 0, & \text{якщо } B_{xy} \leq R. \end{cases} \quad (3)$$

Проте при  $R = \text{const}$  цей метод придатний лише для досить рівномірної контрастності зображення і, отже, не забезпечує достатньої адаптації до його локальної структури, оскільки наявність на вихідному зображенні фрагментів з широким діапазоном зміни контрастності призводить після виконання процедур (2), (3) до зникнення на утвореному зображенні низькоконтрастних деталей. Тому доцільнішим є застосування не постійного, а динамічного порогу, який обчислюється як усереднене значення яскравості певного локального околу:

$$R_{x_0, y_0} = \frac{k}{m \cdot n - 1} \cdot \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{x_i, y_j}^\beta - B_{x_0, y_0}^\beta \right) \quad (4)$$

де  $x_i \in [x_0 - (m - 1) / 2; x_0 + (m - 1) / 2]$ ;  
 $y_j \in [y_0 - (n - 1) / 2; y_0 + (n - 1) / 2]$ ;  
 $k, \beta$  – вагові коефіцієнти;  $m, n$  – кількість пікселів околу по вертикалі та горизонталі;  $B_{x_0, y_0}$  – значення яскравості центрального пікселя околу.

Для покращення якості обробки вагові коефіцієнти підбирають експериментально з дотриманням умов:

$$R_{x, y} \in [B_{\max}; B_{\min}]; \\ \nu = 1 - B_{\min} / B_{\max},$$

де  $\nu$  – бажане значення контрасту зображення.

З цією ж метою можуть бути підібрані оператор перетворення та розмірність околу (зазвичай найбільш оптимальними виявляються ( $\beta = 1$  та  $m \cdot n = 3 \cdot 3$  або  $5 \cdot 5$ ).

Для зменшення часу, необхідного для отримання контурного зображення, можуть бути використані наступні методики [4].

По-перше, операції обчислення вихідних значень пікселів можуть бути попередньо виконані для всіх можливих значень градацій яскравості і занесені в таблиці перегляду.

Тим самим прямі обчислення будуть замінені операціями вибірки з цих таблиць, що вимагатиме значно менших часових затрат.

По-друге, може бути застосований спеціальний порядок вибірки, для чого процесор попередньої обробки відеосигналу, який зазвичай складається з пам'яті кадру та арифметико-логічного пристрою (АЛП), треба доповнити регістром зсуву, буферним регістром та схемою порівняння.

Щоб забезпечити режим реального часу, частота вибору значень  $B_{xy}$  з буферної пам'яті для визначення порогу  $R$  згідно з (4) має бути втричі вищою від частоти дискретизації початкового зображення.

$R_i$  обчислюється за принципом синхронного додавання значення яскравості  $B_{x_{0+2}, y_{0-1}}$  до  $R_{i-1}$  і віднімання від нього значення  $B_{x_{0-2}, y_{0+1}}$ .

Регістр зсуву містить  $m \cdot n$  значень яскравості околу (від  $B_{x_{0-1}, y_{0+1}}$  до  $B_{x_{0+1}, y_{0-1}}$ ), що надходять з пам'яті кадру, з якої також плинне значення  $B_{x_{0+2}, y_{0-1}}$  надходить на додаючий вхід АЛП, на віднімаючий вхід якого з регістра зсуву надходить значення  $B_{x_{0-1}, y_{0+1}}$ .

Сформоване таким чином плинне значення  $R$  за два такти надходить у буферний регістр, звідки воно надходить на схему порівняння разом із новим значенням  $B_{x_{0+1}, y_0}$ . А схема порівняння згідно з (3) формує бінарну послідовність пікселів контурного зображення.

## Висновки

1. Ефективним способом підвищення інформативності тепловізійної системи є накладання контурів видимого зображення на теплове, що дає змогу виявити відповідність нагрітих зон фрагментам об'єкту спостереження.

2. Використання запропонованих алгоритмів обробки дозволяє формувати контурне зображення в реальному масштабі часу, що суттєво для спостережень за рухомими тепловими об'єктами.

3. Пропонована методика може бути використана також і в інших системах формування контурних зображень, що працюють в реальному масштабі часу.

## Список літератури

1. Формування композитних зображень у тепловізійній системі / В. Боженко, І. Боженко, М. Бродський, П. Кондратов, В. Ткаченко // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища - GPS і GIS-технології. – Львів: НУ "ЛП". – 2006. – С. 72-75.
2. Воробель Р. Визначення узагальненого контрасту функціонально перетворених зображень при лінійному описі контрасту його елементів // Вісник НУ "Львівська політехніка" № 413. Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. – Львів: НУ "ЛП". – 2000. – С. 61-68.
3. Aghagolzadeh S., Ersoy O.K. Transform edge detection // Optical engineering. – 1993. – N 5, Vol. 3. – P. 933-943.
4. Боженко І., Гой В., Грицьків З., Кондратов П. Спрощений метод виділення контурів для формування композитних зображень в тепловаченні // Вісник ДУ "Львівська політехніка" №367. Радіоелектроніка та телекомунікації. – Львів: ДУ "ЛП". – 1999. – С. 25-28.

Надійшла до редколегії 1.08.2007

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