

Witold ILEWICZ, Damian BERESKA  
Politechnika Śląska

## WYBÓR OPTYMALNEGO PUNKTU CZASOWEGO REKALIBRACJI CZUJNIKA TERMOWIZYJNEGO

**Streszczenie.** W pracy omówiono zagadnienia niejednorodności czasowej obrazu z czujnika termowizyjnego. Przeprowadzono i pokazano wyniki eksperymentu z kamerą FLIR LEPTON 3.0 wyposażonej w czujnik termowizyjny o rozdzielczości 160 x 120. Dla uzyskanych danych przetestowano kilka wskaźników niejednorodności obrazu i wyciągnięto wnioski dotyczące ich przydatności w wyborze optymalnego punktu czasowego przeprowadzenia procedury rekalkibracji czujnika.

## SELECTION THE OPTIMUM RECALIBRATION TIME POINT OF THE THERMOVISION SENSOR

**Summary.** The paper discusses the issues of time-growing uniformity of the image from the thermal imaging sensor. The results of the experiment with the FLIR LEPTON 3.0 camera equipped with a thermal imaging sensor with a resolution of 160 x 120 were performed and presented. Several indicators of image nonuniformity were tested for the obtained data and conclusions were drawn regarding their usefulness in selecting the optimal time point for the sensor recalibration procedure.

### 1. Wprowadzenie

W obecnych czasach kamery termowizyjne są powszechnie stosowane w wielu różnych dziedzinach, jak na przykład monitoring zewnętrzny, w tym miejsc użyteczności publicznej, monitoring wewnątrzbudynkowy, bezinwazyjne wykrywanie wad technologicznych i konstrukcyjnych w budownictwie, energetyce, wykrywanie uszkodzeń mechanicznych maszyn, wykrywanie pożarów, czy też w medycynie – wykrywanie chorób. W szczególności kamery termowizyjne są też stosowane w nowoczesnych strzelnicach multimedialnych do wykrywania punktów trafienia pocisków.

Najważniejszym elementem kamery termowizyjnej jest czujnik termowizyjny, (zamiennie stosowane nazwy to sensor, matryca, detektor), stanowiący zbiór ustawionych w prostokątnej matrycy pojedynczych detektorów podczerwieni (bolometrów). Parametry kamery termowizyjnej związane z czujnikiem to rozdzielczość (typowe rozdzielczości: 60x60, 140x140, 160x120, 640x480, 1024x768), zakres pomiarowy temperatury, czułość termiczna, zakres spektralny (najczęściej

długofalowy, 8-14  $\mu\text{m}$ ). Jednym z problemów dotyczących czujnika termowizyjnego jest zmienna w czasie niejednorodność obrazu (ang. *non-uniformity*) powodowana dryfem czasowym parametrów poszczególnych pikseli czujnika, prowadzących do zaszumienia obrazu typu ziarnistego (ang. *grainy*, szum przestrzenny wysokoczęstotliwościowy) i typu plamistego (ang. *blotchy*, szum przestrzenny niskoczęstotliwościowy). Z tego powodu w algorytmie obsługi kamery termowizyjnej przewidziano procedurę NUC (ang. *non-uniformity correction*), obliczającą współczynniki korekcyjne zapewniające jednorodność obrazu wyjściowego przy jednorodności wejściowej sceny termalnej. Fabrycznie implementuje się procedury wyznaczania współczynników do korekcji temperaturowej, rozrzutu czułości poszczególnych pikseli, oraz niejednorodności soczewki kamery. Nie uwzględniają one dryfu czasowego parametrów pikseli. Do kompensacji dryfu czasowego w ramach procedury NUC monitorowany jest aktualny stan jednorodności obrazu i w razie potrzeby przeprowadza się procedurę zmiany wartości współczynników zera (ang. *offset terms*) pikseli – proces ten nazywa się FFC (ang. *flat-field correction*) i jest wykonywaną okresowo, niezależną od poprzednich procedurą korekcji parametrów zera pikseli. W praktyce firmware kamery wykrywa nadmierną niejednorodność obrazu i uruchamia procedurę FFC w losowej, z punktu widzenia użytkownika kamery, chwili czasu, co powoduje przerwę w normalnej pracy kamery i może zakłócać proces pomiarów on-line. Algorytm monitoringu niejednorodności obrazu i wybór momentu przeprowadzenia FFC są dla użytkownika kamery niedostępne. Stanowi to motywację do podjęcia badań w celu prowadzenia niezależnego monitoringu stanu niejednorodności czasowej (temporalnej) obrazu i wykonania procedury FFC w chwili niekolidującej z procesem pomiarowym on-line (po wyłączeniu automatycznej korekcji w firmware kamery), w taki sposób, aby w każdej chwili jakość obrazu pozwalała na poprawne działanie systemu wykorzystującego kamerę termowizyjną. Przykładem takiego systemu może być system strzelnicy wirtualnej wykrywający punkty trafienia pocisków.

W literaturze można znaleźć wiele pozycji poświęconych tematyce NUC [1-7], gdzie zaprezentowano szereg wskaźników oceny niejednorodności temporalnej (czasowej) obrazu oraz algorytmów korekcji tej niejednorodności.

## 2. Eksperyment

Eksperymenty przeprowadzono rejestrując sekwencję czasową 4928 obrazów kamerą FLIR LEPTON 3.0, z czujnikiem o rozdzielczości 160x120 z 14-bitowym przetwornikiem obrazu, z zakresem dynamicznym sceny (ang. SDR)  $-10^{\circ}\text{C}\div 140^{\circ}\text{C}$ , z efektywną częstotliwością próbkowania wynoszącą 8,7Hz. Podczas pomiarów rejestrowano obraz stałej pod względem oświetlenia sceny odpowiadający ekranowi strzelnicy multimedialnej.

## 3. Dyskusja wyników

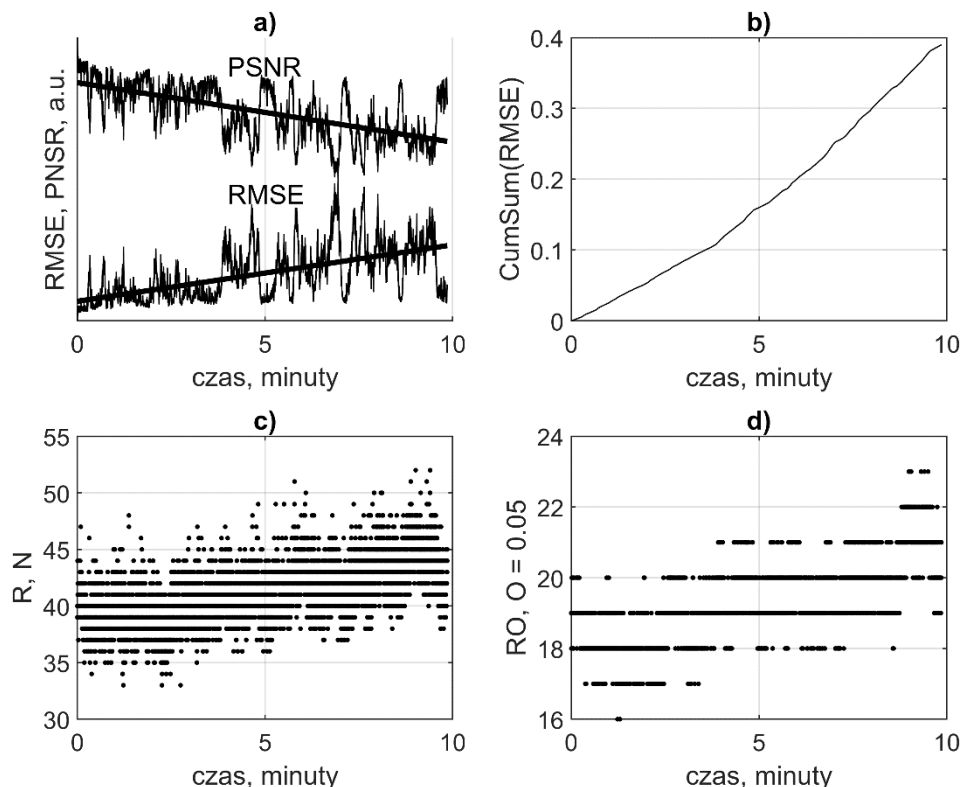
Podstawowa idea wyznaczania optymalnej chwili rekaliibracji parametrów pikseli matrycy polega na śledzeniu wartości wskaźnika niejednorodności i przeprowadzeniu rekaliibracji w chwili osiągnięcia (przekroczenia) przez wskaźnik ustalonej wartości

progowej. Wskaźniki te, w ogólności, są miarą ilościową różnicy między obrazem odniesienia i aktualnym obrazem z czujnika termowizyjnego. W tym przypadku, jako obraz odniesienia stosowano pierwszy obraz zarejestrowany w eksperymencie.

Na rysunku 1a) przedstawiono porównanie przebiegów czasowych dwóch powiązanych ze sobą wskaźników niejednorodności – RMSE (ang. *root mean square error*) i PSNR (ang. *peak signal-to-noise ratio*), często stosowanych przez autorów przedmiotowej literatury (np.[3]), wraz z liniami trendu, wyznaczanych względem pierwszego obrazu. Oblicza się je wg wzoru:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{i,j} [x(i,j) - \hat{x}(i,j)]^2}, PSNR = 20 \log_{10} \left( \frac{2^b - 1}{RMSE} \right) \quad (1)$$

Wskaźnik RMSE rośnie w czasie, wskaźnik PSNR maleje. Dla obu można określić wartość progę, którego przekroczenie, odpowiednio w górę lub w dół, wyznaczy moment rekalkibracji sensora termowizyjnego. Problemem mogą być znaczne, losowe fluktuacje wartości tych wskaźników z obrazu na obraz. Rozwiązaniem jest odpowiednie wygładzenie wskaźników. Na przykład, można skorzystać ze wskaźnika będącego całką z RMSE, przedstawionego na rysunku 1b). Ma on gładki przebieg, jednakże w takim przypadku należy odpowiednio przeliczyć próg rekalkibracji. Wygładzanie przez całkowanie można zastosować dla wskaźników rosnących w czasie.



Rys.1. Przebiegi czasowe wskaźników oceny niejednorodności na podstawie wykonanego eksperymentu [źródło własne]

Na rysunku 1c) pokazano przebieg wskaźnika R będącego miarą wymagającą mniejszego nakładu obliczeniowego niż RMSE i PSNR. Jest to rozstęp różnicy wartości

pikseli aktualnego obrazu względem obrazu odniesienia. Charakter wskaźnika jest rosnący w czasie. Fluktuacje wartości tego wskaźnika, widoczne na rysunku 1c) można zmniejszyć stosując obcięcie danych do wyznaczania wskaźnika. Wskaźnik RO, którego przebieg pokazano na rysunku 1d), wyznaczono przez usunięcie 5% największych i 5% najmniejszych wartości używanych do wyznaczenia R z różnicy wartości pikseli w dwóch obrazach – parametr  $O = 0.05$  określa ten %. W ten sposób osiągnięto gładszą i bardziej monotoniczną wersję wskaźnika R.

#### 4. Podsumowanie

Podstawową ideę wyznaczania optymalnej chwili recalibracji czujnika termowizyjnego należy dopracować. Po pierwsze, eksperyment, którego wyniki tu zaprezentowano, był wykonany na jednorodnym, niezmiennym obrazie. W praktyce, obraz (scena) zmienia się w czasie, co może stanowić istotne zakłócenie wskaźników niejednorodności. Po drugie, należy dopracować kwestię doboru wartości progu wskaźnika. Wartość tę należy określać ze względu na cel, który realizuje system wykorzystujący czujnik termowizyjny w taki sposób, aby wybrana wartość progu zapewniała, do momentu recalibracji, poziom szumów w obrazie umożliwiający poprawne wykonywanie zadania systemu. Na przykład, jeśli celem zastosowania czujnika termowizyjnego jest wykrywanie punktu trafienia na strzelnicy multimedialnej, recalibracja powinna być przeprowadzona, zanim wysokoczęstotliwościowe szумы wynikające z dryfu czasowego parametrów pikseli czujnika termowizyjnego nie osiągną poziomu porównywalnego z sygnałem pochodzącym z punktów trafień na strzelnicy o podwyższonej względem otoczenia temperaturze.

#### LITERATURA

1. Mooney J.M., Shepherd F.D.: Characterizing IR FPA nonuniformity and IR camera spatial noise. *Infrared physics & technology*, 1996, 37, p.595-606.
2. San Martin C., Torres S., Pezoa J.E.: Statistical recursive filtering for offset nonuniformity estimation in infrared focal-plane-array sensors. *Infrared physics & technology*, 2008, 51, p.564-571
3. Zuo C. et al.: Improved interframe registration based nonuniformity correction for focal plane arrays. *Infrared Physics & Technology*, 2012, 55, p.263-296.
4. Zuo C. et al.: Scene based nonuniformity correction based on block ergodicity for infrared focal plane arrays. *Optik*, 2012, 123, p.833-840.
5. Redlich R. et al.: Embedded nonuniformity correction in infrared focal plane arrays using the Constant Range algorithm. *Infrared Physics & Technology*, 2015, 69, p.164-173.
6. Hua W. et al. Stripe nonuniformity correction for infrared imaging system based on single image optimization. *Infrared Physics & Technology*, 2018, 91, p.250-262.
7. Chang S., Zhou L.: Single-reference-based solution for two-point nonuniformity correction of infrared focal plane arrays. *Infrared Physics & Technology*, 2019, 101, p.96-104.