



Koncepcja miniaturowego niskokosztowego alertera podczerwieni dla Wojsk Obrony Terytorialnej

Paweł DOBRZYŃSKI^{1*}, Stanisław LIPSKI², Bogdan MACHOWSKI¹
Janusz ROSIAK³

¹Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa,
00-908 Warszawa 49, ul. gen. Witolda Urbanowicza 2

²Instytut Mechaniki Precyzyjnej, 01-796 Warszawa, ul. Duchnicka 3

³PCO S.A, 03-982 Warszawa, Jana Nowaka-Jeziorańskiego 28

* autor korespondencyjny, e-mail: pawel.dobrzynski@wat.edu.pl

Artykuł wpłynął do redakcji 08.05.2017 r.

Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 11.06.2018 r.

DOI 10.5604/01.3001.0012.1110

Streszczenie. W artykule zaprezentowano koncepcję projektu niskokosztowego alertera podczerwieni przeznaczonego dla Wojsk Obrony Terytorialnej, który mógłby być wykorzystany jako uniwersalna platforma rozpoznawcza bliskiego zasięgu dla pododdziałów piechoty lub sił specjalnych, wykonujących zadania zwiadowczo-dywersyjne lub osłonowe (w terenie: otwartym, leśnym, górzystym lub zurbanizowanym) wiążące się z koniecznością ciągłego lokalnego lub zdalnego kontrolowania obszarów, które mógłby zająć przeciwnik pod osłoną nocy lub atakować za pomocą środków napadu powietrznego.

Słowa kluczowe: systemy detekcji termicznej, alerter podczerwieni, rozpoznanie pola walki, systemy podwójnego zastosowania, urządzenia mechatroniczne

1. WSTĘP

Przeprowadzone na Wydziale Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej, a także w Uczelnianym Centrum Badawczym Obronności i Bezpieczeństwa Politechniki Warszawskiej analizy potrzeb nowo tworzonego w RP rodzaju Sił Zbrojnych, jakim są Wojska Obrony Terytorialnej (WOT), wykazały, że przygotowanie propozycji do wyposażenia pododdziałów WOT wymaga zupełnie innego podejścia systemowego w porównaniu z wytwarzaniem i dostarczaniem wyposażenia dla wojsk klasycznych.

Przykładem takiego problemu jest np. brak taniego i niezawodnego systemu ostrzegania pododdziałów WOT o desantach powietrznych, siłach rajdowo-uderzeniowych oraz grupach dywersyjno-rozpoznawczych nieprzyjaciela działających w nocy. Ponieważ jednym z głównych zadań WOT jest ochrona i obrona określonych obiektów (np. garnizonów wojskowych i zakładów pracy resortu obrony narodowej), konieczne okazuje się wyposażenie WOT w systemy umożliwiające niwelowanie niedoskonałości ich wyposażenia w sprzęt optyczno-elektroniczny. Konieczność posiadania własnej (narodowej) bazy danych obiektów ataku powietrznego oraz wymóg własnego (narodowego) oprogramowania i kodów źródłowych urządzeń alarmujących żołnierzy o zagrożeniach z powietrza lub lądu, spowodowały zainteresowanie tym tematem potentata sprzętu optoelektronicznego w Polsce – firmy PCO S.A., która rozpoczęła przygotowanie do zawiązania konsorcjum naukowo-przemysłowego w składzie: PCO S.A. (Lider), Wojskowa Akademia Techniczna (Wydział Mechatroniki i Lotnictwa); Politechnika Warszawska (Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa) oraz Polska Grupa Zbrojeniowa S.A., którego celem jest próba wykonania i wdrożenia do WOT urządzenia zwanego „alerterem podczerwieni”.

2. SPECYFIKA PRACY ALERTERA PODCZERWIENI

Na Wydziale Mechatroniki i Lotnictwa WAT poddano badaniom dwa typy urządzeń, które można by określić mianem alertera podczerwieni. Przykładem takiego rozwiązania jest system ADAD (Air Defense Alerting Device) aktualnie oferowany przez firmę THALES. Zadaniem systemu ADAD jest pasywne wykrywanie i śledzenie potencjalnych zagrożeń z powietrza (takich jak helikoptery i samoloty), ostrzegając żołnierzy o ich pojawieniu się alarmem powiązany z kierunkiem zagrożenia i typem wykrytego obiektu. Informację o wykrytych i śledzonych celach ADAD może przekazywać za pomocą interfejsu RS422. Zgodnie ze specjalnym protokołem ADAD przekazuje rekordy danych „celu powietrznego”:

Tabela 1. Rekord danych alertera podczewieni ADAD

Table 1. Data record of alerter device ADAD

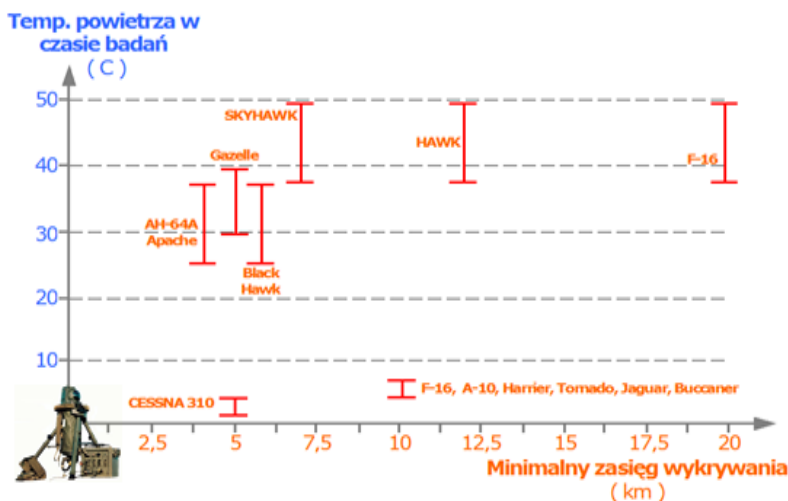
Bajt	Nazwa pola	Komentarz
0÷1	TARGET_REFERENCE	1÷999
2÷3	UPDATE_TIME (czas systemowy)	0÷4095 [msek*10]
4÷5	ELEVATION	-500÷500 [tys.]
6÷7	AZIMUT	0÷4288 [tys.]
8÷9	ELEVATION_RATE	-136÷136 [tys./s]
10÷11	AZIMUT_RATE	-227÷227 [tys./s]
12	TARGET_TYPE	1 – AIRCRAFT (samolot) / 2 – PUH (śmigłowiec) 3 – ROAD_VEHICLE (pojazd lądowy)
13	TARGET_PRIORITY	0÷4
14	SECONDARY_ALLOCATION	0 – cel został poprawnie przekazany za pierwszym razem 1 – cel został poprawnie przekazany za następnym razem
15	TARGET_ALLOCATED	0 – cel nie został zlokalizowany (koniec trasy) 1 – cel jest przekazany do SKO

Przykład producentów systemu ADAD pokazuje, że użycie alertera wymaga indywidualnego podejścia dla każdego z typów celów, sytuacji taktycznej, kąta poszukiwania celu oraz zasięgu wykrycia. Kąt poszukiwania obiektów ma bezpośredni związek z typem obiektu, poziomem lotu oraz sposobami wykonywania manewrów. Dla każdego obiektu, a niekiedy nawet w obrębie tej samej grupy obiektów, wymagania na kąt widzenia będą inne. Na zasięg wykrycia celu, poza założonym kątem widzenia stanowiska, ma również wpływ tzw. sygnatura termalna celu.

System ADAD był badany na Wydziale Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej w 2012 r. W czasie badań potwierdziły się zarówno silne, jak i słabe strony tego rozwiązania, które wynikały z wcześniej prowadzonych w WAT analiz teoretycznych. Jedną z poważniejszych wad tego rozwiązania był zbyt mały kąt pola widzenia w elewacji – według danych udostępnionych przez firmę Pilkington zakres kąta skanowania wirującej głowicy wynosi 10° , co powoduje, że urządzenie jest raczej przeznaczone do wykrywania celów ze znacznej odległości. Cele pojawiające się nagle, np. zza przeszkody terenowej (śmigłowce, małe samoloty startujące z bemowskiego lotniska) bardzo często nie były wykrywane.

Okazało się, że w przypadku alertera bardzo ważnym elementem jest przygotowanie stanowiska obserwacyjnego. Im wyżej było ono położone, tym lepsze rezultaty alarmowania były uzyskiwane.

ADAD został skonstruowany zgodnie z wymaganiami Wielkiej Brytanii. Według założeń, które spełnia system, prawdopodobieństwo fałszywego alarmu średnio jest mniejsze niż 5 fałszywych alarmów na godzinę. Niestety, system ADAD w wersji przenośnej posiada wiele wad konstrukcyjnych (np. duża masa i gabaryty, przestarzały interfejs MMI (Man Machine Interface)), które w praktyce wymagają doskonale przeszkolonej obsługi i długotrwałego procesu obsługi i kalibracji na stanowisku obserwacyjnym.



Rys. 1. Zasięgi wykrywania systemu ADAD określone w badaniach producenta (Źródło: opracowanie własne)

Fig. 1. The ranges of ADAD system detection specified in the manufacturer's research (Source: own study)

Kolejnym mankamentem systemu ADAD jest czas, jaki upływa między wykryciem a zaalarmowaniem, który związany jest z częstotliwością skanowania przestrzeni oraz prawdopodobieństwem fałszywego alarmu (ADAD bezpośrednio skanuje otoczenie w podcierwieni dookólnie 360°). Dla systemu ADAD czas ten szacowany jest na nie dłużej niż 3 pełne skany horyzontalne, czyli 5,4 s. Po tym czasie alarmowanie rzeczywiście dotyczy celu, który jest o około 5,4 s przemieszczony do innego miejsca od pierwotnie zdetekowanego (dla szybkich celów różnice odległości mogą osiągać wartości 2 km).

Tabela 2. Odległości i typy obiektów, dla których ADAD zapewnia 90% prawdopodobieństwo wykrycia oraz alarmowanie operatora
(Źródło: Pilkington Thorn Optronics)

Table 2. Distances and types of objects for which ADAD provides 90% probability of detection and alerting the operator. (Source: Pilkington Thorn Optronics)

Typ celu	Prędkość celu	Powierzchnia równoważna	Zasięg alarmowania
Myśliwiec bombardujący	310 m/s (~0,93 M)	2,0 m ²	9 km
Samolot wsparcia pola walki	150 m/s (0,45 M)	2,0 m ²	6 km
Śmigłowiec w pełni widzialny	1-100 m/s	4,0 m ²	6 km
Śmigłowiec częściowo widzialny	0 m/s	0,1 m ²	3,5 km



Terminal systemu ADAD umożliwia wyświetlanie informacji alarmowych na wyświetlaczu alfanumerycznym i diodowym, służy także do wprowadzania stref nieczułości (zakłóceń stałych), które nie są brane pod uwagę w procesie detekcji.

Rys. 2. Główne elementy systemu ADAD w wersji przenośnej
(Źródło: opracowanie własne)

Fig. 2. The main elements of the ADAD system in a portable version
(Source: own study)

Kolejnym alerterem podczerwieni, którego uczestnikami badań w 2012 r. byli polscy eksperci, był niemiecki system FIRST (Fast InfraRed Search and Track). Urządzenie powstało na zapotrzebowanie armii niemieckiej i produkowane jest przez firmę Rheinmetall Defence Electronics GmbH. Na Centralnym Poligonie Sił Powietrznych w Ustce, stronie polskiej przedstawiono go w ukończeniu systemu AGSAS (Air and Ground Surveillance & Alert System). Składa się on z dwóch głównych podsystemów, tj. z alertera FIRST oraz śledzącej głowicy optoelektronicznej MSP (Multi Sensor Platform) wyposażonej m.in. w: dalmierz laserowy, kamerę TV, kamerę IR, konwerter sygnałów.

Alerter FIRST jest pasywnym systemem, przenośnym i łatwym do zamaskowania. FIRST bezpośrednio skanuje otoczenie w podczerwieni dookoła 360° z krótkim czasem reakcji. Zadaniem alertera jest wykrywanie celów powietrznych, automatyczne przechwycenie oraz ich śledzenie. Jego główne cechy to wysoka czułość wykrywania przy maksymalnym zasięgu i wysokiej rozdzielczości dla dokładnego śledzenia celu, przy stosunkowo niewielkich rozmiarach i mobilności.



Rys. 3. Schemat blokowy systemu AGSAS oraz widok jego głównych elementów.
(Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów Rheinmetall Defence Electronics)

Fig. 3. Block diagram of the AGSAS system and a view of its main elements.
(Source: own study based on Rheinmetall materials Defense Electronics)

Z dokumentacji producenta wynika, że ze względu ciągłą możliwość nadzoru azymutu w zakresie 0-360° i bardzo wysoką rozdzielczość, która jest lepsza niż w innych porównywalnych radarach klasy SHORAD, FIRST jest w stanie sprostać wszystkim wyzwaniom dla sił obrony powietrznej, od myśliwców i śmigłowców do rakiet bojowych, środków bezpilotowych i innych broni inteligentnych. Dzięki zautomatyzowanemu procesowi nadzoru, analizy i śledzenia potencjalnych celów, operator otrzymuje optymalnie przygotowane dane i jego obciążenie jest zmniejszone.

Wspólne badania tego alertera wykazały, że w dalszym ciągu jest to system jeszcze bardziej skomplikowany i wymagający dobrze wyszkolonych operatorów, a jego koszty zakupu, eksploatacji i serwisowania są bardzo wysokie.

Tabela 3. Podstawowe dane techniczne FIRST (Źródło: Rheinmetall Defence Electronics)

Table 3. Basic technical data of FIRST (Source: Rheinmetall Defense Electronics)

Detektor podczerwieni	Chłodzona linijka detektorów
Zakres czułości widmowej	7,5÷10,3 μm
Częstotliwość powtarzania obrazu	5 Hz
Zakres regulacji kąta elewacji	54° (+33°/-21°)
Nominalny kąt elewacji	18°
Zakres widzenia w azymucie	n × 360°
Zdolność rozdzielcza w azymucie	7200 pikseli/360°, 0,9 mrad/piksel
Zdolność rozdzielcza w kącie elewacji	576 pikseli/18°
Czas schładzania detektora do osiągnięcia gotowości widzenia termicznego	< 8 min

Jednocześnie badania i pokaz alertera FIRST uświadomiły polskim ekspertom, że:

- praca systemu w środowisku silnie zaszumionym może znacznie obniżyć jego skuteczność;
- pomimo wysokiego stopnia automatyzacji, istnieje konieczność eliminowania fałszywych alarmów przez operatora;
- urządzenia tego typu muszą być tak konstruowane, aby zapewnić wymóg małego poboru energii elektrycznej;
- oprogramowanie do obróbki danych wizyjnych musi wielokrotnie próbować pierwotne kadry obrazu termalnego;
- obojętnie który podmiot (polski czy zagraniczny) będzie dostarczał alerter podczerwieni, istnieje konieczność posiadania własnej (narodowej) bazy danych obiektów ataku powietrznego i kodów źródłowych;
- konieczne jest powtarzanie badań skuteczności systemu dla różnych warunków środowiskowych;

- możliwe jest wykorzystanie systemu do wykrywania pocisków moździerzowych, ракет taktycznych lub innych broni stosowanych w konfliktach asymetrycznych;
- konieczne jest wyposażenie systemu alertera w urządzenia umożliwiające wpięcie go do różnych systemów wojskowych i cywilnych.

3. CHARAKTERYSTYKA PRACY ALERTERA PODCZERWIENI DLA WOT

Przeprowadzone w WAT badania i analizy wykazały zalety (+) i wady (-) tego typu urządzeń zwanych pasywnymi alerterami podczerwieni:

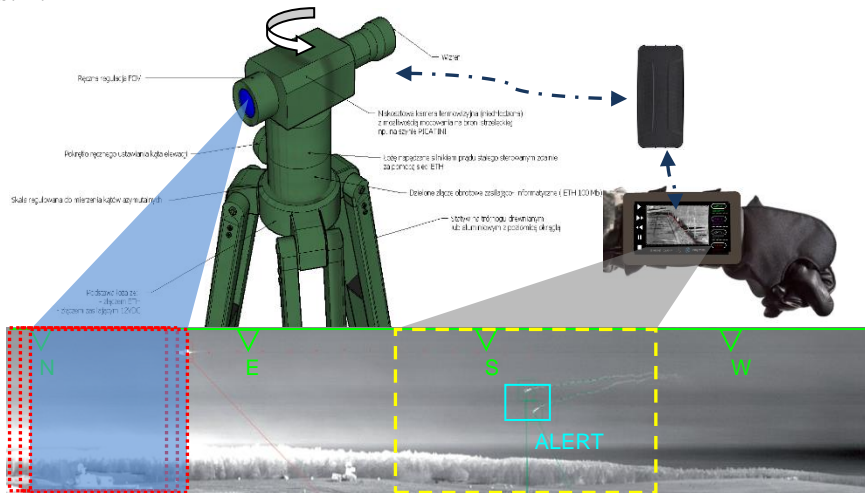
- pasywna całodobowa praca w trybie wykrywania, śledzenia, klasyfikacji, alarmowania, priorytetyzacji i wskazywania celów [+];
- odporność na przeciwdziałanie za pomocą urządzeń walki EMC [+];
- wykrywanie samolotów i śmigłowców niezależnie od technologii wykonania [+];
- małe wymiary i zminimalizowana sygnatura termalna – urządzenie trudno wykrywalne [+];
- relatywnie niskie koszty zakupu i eksploatacji w stosunku do zestawów radarowych [+];
- na ogół zasięg wykrycia większy niż możliwości wykonania ataku przez obiekty napadu powietrznego [+];
- zasięg wykrycia celu ograniczony widzialnością meteorologiczną [-];
- pułap wykrycia celu ograniczony pułapem chmur [-];
- ograniczony kąt obserwacji obszaru w elewacji (koszty lub konstrukcja) [-].

Wyniki badań i analiz przeprowadzonych przez zespół Wojskowej Akademii Technicznej i Politechniki Warszawskiej, a także analizy konfliktu ukraińsko-rosyjskiego na Krymie, zaowocowały wnioskami dotyczącymi celowości opracowania i produkowania w RP stosunkowo niedrogich i prostych w obsłudze urządzeń mogących pełnić funkcję alerterów podczerwieni. Przewidywane parametry taktyczno-techniczne (T-T):

- skład urządzenia: łożo napędowe, trójnóg, siatka maskująca, akumulator, ładowarka, odbiornik (modem);
- masa łoża napędowego alertera = 1,0 kg;
- masa trójnożu drewnianego/aluminiowego = 1,8 / 1,0 kg;
- masa siatki maskującej trójnóg = 0,5 kg;
- kąt pola widzenia w azymucie = 360° (zapewniony dzięki bezprzekładniowemu napędowi BLDC i złączu obrotowemu);
- kąt pola widzenia w elewacji – zależny od kąta pola widzenia zamontowanej kamery IR i jej kąta podniesienia;
- typy przyjmowanych sygnałów – $V_{ANALOG} / V_{DIGITAL} / V_{IP}$;

- zasilanie elementu detekcyjnego – z akumulatora 12 VDC (poprzez złącze obrotowe łoża napędowego);
- max. odległość stanowiska obserwacyjnego od operatora = 2,5 km (PKL + modem wielopasmowy);
- obsługa nieetatowa = 1 żołnierz OT doraźnie przeszkolony.

Zasada działania alertera podczuwieni dla WOT przedstawiona została na rys. 4.



Rys. 4. Zasada działania alertera podczuwieni dla WOT
(Źródło: opracowanie własne)

Fig. 4. The principle of operation of an infrared alerter for TDF
(Source: own study)

Istotą rozwiązania tego alertera jest to, że nie posiada on żadnych modułów analizy obrazu w miejscu obserwacji. Obraz uzyskiwany z urządzenia obrazowego przesyłany jest do specjalnego media konwertera, który udostępnia go za pomocą niskozasięgowego Bluetooth. Analiza przesyłanego obrazu realizowana jest za pomocą oprogramowania pracującego pod kontrolą tabletu operatora.

Przykładem możliwego do wykorzystania w alerterze urządzenia przetwarzającego obraz termalny jest np. celownik termowizyjny CTP-1 produkcji PCO S.A., który stanowi wyposażenie przeciwlotniczego zestawu raketowego PPZR „PIORUN”. Jest przeznaczony do obserwacji, namierzenia i celowania celów lotniczych w dzień i w nocy, bez względu na warunki oświetlenia, jak również przy niekorzystnych warunkach atmosferycznych (lekka mgła, zadymienie). Poniższa tabela przedstawia podstawowe parametry pracy celownika:

Tabela 4. Podstawowe dane techniczne CTP-1 (Źródło: PCO S.A.)

Table 4. Basic technical data of CTP-1 (Source: PCO S.A.)

Zakres spektralny	7 μ m÷14 μ m
Typ detektora	matryca mikrobolometryczna 640 × 480
NETD	≤ 0,07°C (w temp. otoczenia +25°C)
Pole widzenia (FOV)	12,4°(V) × 9,3°(H)
Odległość identyfikacji celu typu osoba	200 m
Czas gotowości do pracy	< 15 s
Zasilanie	6,2 V÷10,8 V DC, 300 mA
Wyjście Video	analog RGB SVGA
Interfejs danych	RS485
Temperatura pracy	od -32°C do +50°C
Wymiary (mm)	280 (dł.) × 80 (szer.) × 100 (wys.)
Waga (z bateriami)	< 1,25 kg

Zaproponowane rozwiązanie alertera podczerwieni przez WAT i PW posiada wiele zalet, z których najważniejszą jest przewidywana możliwość współpracy z dowolną miniaturową kamerą termowizyjną, której rozdzielczość matrycy i NETD są znane.



Rys. 5. Widok celownika termalnego CTP-1 produkcji PCO S.A. [1]

Fig. 5. View of the CTP-1 thermal sight made by PCO S.A. [1]

Przewiduje się, że wyposażenie Wojsk Obrony Terytorialnej w alertery podczerwieni poprawiłoby lub zwiększyło następując zdolności operacyjne:

1. Całkowicie pasywna całodobowa praca w trybie: wykrywania, śledzenia, klasyfikacji, alarmowania, priorytetyzacji i wskazywania celów, poprzez nadanie kamerze termowizyjnej jednostajnego ruchu obrotowego.
2. Wykrywanie samolotów, śmigłowców i dużych BSL, niezależne od technologii ich wykonania.

3. Wykorzystanie elementów celowniczych broni indywidualnej lub grupowej (niechłodzonych kamer termowizyjnych) jako elementu układu detekcyjnego pracującego w pasmie podczerwieni.
4. Skuteczne wykrywanie i oznaczanie obiektów powietrznych/nawodnych/naziemnych, których sygnatura termalna wskazuje na ich ruch względem punktu obserwacji alertera.
5. Automatyczna identyfikacja obserwowanych obiektów (człowiek, pojazd, samolot, UAV itp.).
6. Automatyczna segregacja obiektów (np. względem stopnia zagrożenia wywołanego jego obecnością w pobliżu alertera podczerwieni).
7. Przesyłanie w czasie rzeczywistym strumienia video do dowolnego systemu komputerowego poprzez polowy kabel lekki w celu zdalnego monitoringu obserwowanego terenu przez operatora lub programowy system ekspercki.
8. Wskazywanie na tle mapy cyfrowej kierunku wykrytego zagrożenia/alarmu.

4. ALGORYTMY ZAUTOMATYZOWANEGO WYKRYWANIA MAŁYCH OBIEKTÓW

Opracowaniem algorytmów znajdowania w sposób zautomatyzowany obiektów o małych rozmiarach na obrazach rastrowych z kamer, specjaliści od cyfrowej obróbki zobrażeń zajmują się od kilku dziesięcioleci.

Pod pojęciem obiektu o małych rozmiarach w tym przypadku rozumiane jest zobrazenie obiektu obejmujące od kilku do kilkudziesięciu pikseli na analizowanym kadrze wybranej sceny. Za wynik pracy algorytmu odnajdywania obiektu o małych rozmiarach uważa się wyseparowanie na cyfrowym zobrazeniu grupy pikseli, odnoszących się do wyszukiwanego obiektu. Pomimo dotychczas osiągniętych sukcesów w rozwiązywaniu poszczególnych zadań, problem wciąż pozostaje aktualny.

Konkretne algorytmy istotnie zależą zarówno od celu wykrywania takich obiektów, jak i ograniczeń wynikających z zawartości konkretnej sceny. Jeśli alerter podczerwieni traktować jako samodzielny system złożony o uzupełniających się funkcjach, z których każda ma swoje ograniczenia, to jego konstrukcję można opisać prostym liniowym modelem z następującą funkcją celu:

$$\{z\} = f(x_1, \dots, x_n) \quad (1)$$

gdzie: x_1, \dots, x_n są cząstkowymi celami złożonej funkcji $\{z\}$.

Każdy z cząstkowych celów x posiada swoje ograniczenia, które można zapisać jako:

$$g_i(x_1, \dots, x_n) \geq 0 \text{ dla } i = 1, \dots, m \quad (2)$$

Zaproponowany model liniowy można wykorzystać zgodnie z żądanym kierunkiem optymalizacji, zależnie od tego, czy poszukujemy maksimum, czy minimum funkcji celu z możliwością doboru celów szczegółowych. Jeśli głównym zadaniem alertera jest wykrywanie obiektów na obrazie cyfrowym, to jego ogólna funkcja celu może posiadać następujący zbiór celów cząstkowych:

- potwierdzanie określonych znaków alfanumerycznych lub ich sekwencji, obecnych w obrazie cyfrowym;
- zliczanie obiektów w poszczególnych klasach obecnych na obrazach z cyfrowych kamer: lotniczych, drogowych, medycznych, dozorujących obszary leśne, miejskie, fabryczne, wywiadowczych i in.;
- wyszukiwanie oddzielnych zarówno poruszających się, jak i nieruchomych obiektów w kolejnych kadrach strumieni obrazów wideo, np. dla monitoringu strumieni ruchu drogowego, osobowego, lotniczego, wodnego i in.;
- określenie położenia wykrytego i rozpoznanego obiektu, na przykład dla lokalizacji zobrazowań, otrzymanych z różnej perspektywy.

Ograniczenia zawartości dotyczą właśnie wyseparowywanych obiektów, na przykład możliwych symboli przy obróbce obrazu tekstu, jak również tła, na którym należy wykrywać objekty. Tło na zobrazowaniu z obiektami o małych rozmiarach także może być względnie równomierne, jak na przykład przy wyszukiwaniu obiektów powietrznych lub mieć strukturę złożoną, jak na przykład w systemach obserwacji wideo w środowisku leśnym, miejskim lub celowo zakłócanym.

Praca alertera skomplikowanych obiektów jest procesem złożonym, a przez to wymagającym złożonych algorytmów. W celu ułatwienia tworzenia tego typu algorytmów, wykrywanie obiektów złożonych wykonuje się w kilku etapach hierarchicznie następujących po sobie. Przykładem hierarchicznego algorytmu alertera może być sposób przedstawiony na rys. 6.

Najczęściej w pierwszym etapie wykrywane są niektóre cechy (parametry i/lub fragmenty) obiektu, których rodzaj i wzajemna konfiguracja pozwala na zidentyfikowanie obiektu. Bardzo często w tym celu wykorzystuje się algorytmy wykrywania ruchu, krawędzi, okręgów, koloru, tekstury i in. W praktyce w większości przypadków wykrywanie obiektów na podstawie tylko jednej cechy jest mało skuteczne. Dlatego opracowano wiele sposobów rozwiązywania tego problemu, także z wykorzystaniem różnych sensorów źródłowych [3]. Dla znajdowania obiektów o małych rozmiarach na obrazach z równomiernym tłem (woda, niebo, pole) wykorzystuje się korelacyjne metody zarówno w przestrzeni geometrycznej [4], jak i w przestrzeni częstotliwościowej z wykorzystywaniem różnych przekształceń ortogonalnych (Fouriera, Walsh, Hadamarda) [5].



Rys. 6. Proponowana hierarchia poziomów obróbki informacji i w systemie alertera [2]

Fig. 6. Proposed hierarchy of information processing levels and alerter system [2]

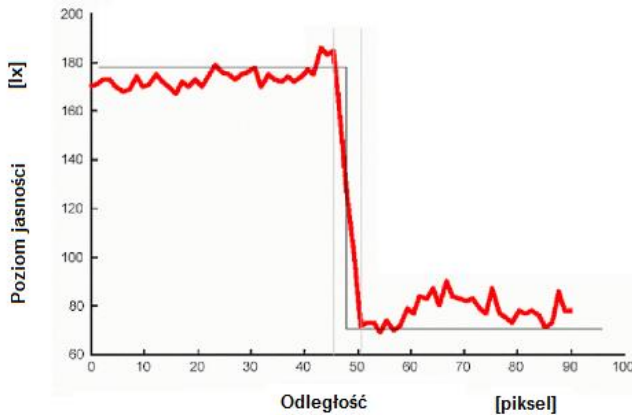
Algorytmy, opracowane dla wykrywania i śledzenia obiektów [6], są najbardziej skuteczne przy obecności nieruchomego tła z przemieszczającym się po nim obiektem. Położenie obiektu na zobrazowaniu określa się na podstawie współrzędnych piksela, odpowiadających środkowi opisanego okręgu lub prostokąta wokół obrazu obiektu. W przypadku obiektów powietrznych tło jest praktycznie stałe lub z płynnie zmieniającą się funkcją jasności w obecności chmur, których prędkość przemieszczenia jest znacznie mniejsza od prędkości odseparowanego obiektu.

Do oceny parametrów modelu autoregresywnego tła w celu jego późniejszego zredukowania wykorzystuje się zarówno algorytmy predykcji liniowej [7], jak i adaptacyjnej przestrzennej filtracji [8]. Wyniki analizy porównawczej pokazują, że adaptacyjny algorytm w pełni zadowalająco pracuje przy stosunku sygnał/szum 2,5 i więcej [9]. W zobrazowaniach obiektów sztucznych charakterystyczna jest znaczna ilość prostoliniowych krawędzi (budynki, drogi).

Natomiast obrazy obiektów naturalnych głównie mają granice krzywoliniowe, choć niekiedy mogą być spotykane i proste linie, na przykład linia horyzontu. Granice obiektów na obrazie elektronicznym są przestrzenią różnicy jasności i do ich wyizolowania stosuje się dobrze znane filtry różniczkujące lub różnicowe [10].

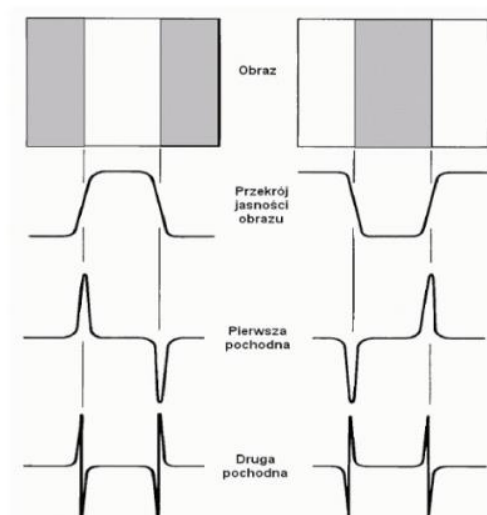
Dla obrazów monochromatycznych, które widzi kamera termowizyjna, krawędź definiuje się jako fizyczne, fotometryczne i geometryczne nieciągłości funkcji obrazowej. Krawędzie fizycznie pokrywają się z miejscami występowania znacznych zmian oświetlenia, promieniowania samoistnego lub odbitego, orientacji, współczynnika odbicia, czy głębi obiektów sceny obrazu.

Zazwyczaj wyrazistość obrazu jest proporcjonalna do jasności sceny, dlatego też krawędzie są obecne w miejscu wystąpienia zmian intensywności funkcji obrazowej. Najłatwiejsze do identyfikacji jest gwałtowne, skokowe przejście jasności – tak jest w obrazach binarnych. Jednak cyfrowe obrazy z rzeczywistych kamer mają takie przejście krawędziowe na skali szarości, mniej lub bardziej rozmyte.



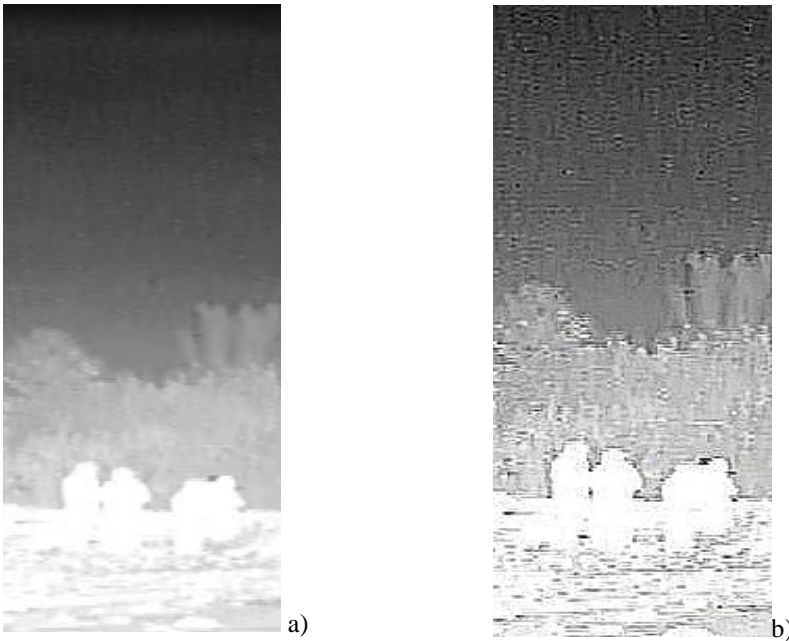
Rys. 7. Przykładowy profil rozkładu jasności krawędzi obrazu [10]

Fig. 7. Example profile of brightness distribution of the image edge [10]



Rys. 8. Wykorzystanie właściwości różniczkowania lokalnych gradientów sygnału do detekcji krawędzi [10]

Fig. 8. Using the properties of differentiating local signal gradients for edge detection [10]



Rys. 9. Niezamaskowana grupa ludzi na poligonie widziana kamerą FLIR-Tau, z odległości 100 m a) wykadrowany obraz oryginalny, b) po wyostreniu (temperatura powietrza 12°C)

Fig. 9. Unmasked group of people on the training ground as seen by the FLIR-Tau camera, from a distance of 100 m a) cropped original image, b) after sharpening (air temperature 12°C)

Inny rodzaj krawędzi to lokalne rozjaśnienie lub ściemnienie. Można też spotkać krawędzie wynikające ze zmiany wzoru (tekstury) tworzonego przez punkt obrazu. Krawędź powstaje na granicy obszarów o różnych wartościach funkcji obrazowej (różnych poziomach szarości) i ma charakter krzywoliniowy. Z punktu widzenia powierzchni funkcji obrazowej, krawędzie można scharakteryzować, rozpatrując ich przekrój poprzeczny, gdyż krawędzie na obrazie mogą występować pod różnymi postaciami np. skok idealny, liniowo narastający, o zaokrąglonych brzegach, liniowy typu dach, typu przeszkoda i in.

W praktyce okazuje się, że ustalenie, gdzie przebiega krawędź jest trudne z powodu różnic w „ostrości” przejścia oraz w poziomach szarości poszczególnych pikseli. Większość metod detekcji brzegów opiera się na wyznaczeniu lokalnych pochodnych obrazu, tj. tzw. operatorów gradientowych (Gradient Mask Operators).

Interesującym rozwiązaniem jest tzw. LoG-filtr, pozwalający wyseparować linię konturu grubości jednego piksela z jednoczesną eliminacją szumu i drobnych słabo kontrastujących szczegółów [11].

Do wyizolowania tylko granic prostoliniowych stosuje się bardziej złożone metody, na przykład wyseparowanie linii przejścia jasności grubości jednego piksela detektorem Canny [12], aby następnie zastosować przekształcenie Hougha [13]. Pewna niedoskonałość takiego podejścia polega na tym, że detektor Canny, z powodu nieliniowości transformaty i ograniczonego tłumienia daje na wyjściu „drżącą” linię, a także wygładza kąty, tj. punkty gwałtownej zmiany kierunku granicy.

Przekształcenie Hougha w tym przypadku daje poprzerywaną linię, co wymaga dodatkowej obróbki w celu powiązania jej fragmentów, a do wyznaczenia wierzchołków kątów trzeba poszukiwać uzupełnień dla tego algorytmu. Przydatnym uzupełnieniem dla takiego rozwiązania na przykład jest innowacyjny detektor narożników Harrisa [14].

Na obrazach, otrzymanych w skomplikowanych warunkach (niedostateczne lub zbędne oświetlenie, zjawiska pogodowe – deszcz, śnieg, mgła), obiekty małych rozmiarów mogą praktycznie zlewać się z tłem, co znacznie utrudnia ich identyfikację zarówno w trybie pracy ręcznej, jaki automatycznej. W takich przypadkach staje się niezbędne wcześniejsze zwiększenie kontrastu obrazu jedną ze znanych metod [15]. Dobór konkretnego algorytmu zwiększenia kontrastu i parametrów obróbki obrazu zależy od statystycznych charakterystyk obrazu i wyjściowej rozróżnialności obiektów.

Wstępnie naszkicowane zagadnienie zautomatyzowanego wykrywania małych obiektów w obrazie cyfrowej kamery termowizyjnej może być do pewnego stopnia pomocne podczas realizacji koncepcji i budowy miniaturowego niskokosztowego alertera pracującego w widmie podczerwieni. Urządzenie może być jednym z elementów systemu bezobsługowego nadzoru i ostrzegania przed zagrożeniami z powietrza, ładu, wody znajdujących się w wyposażeniu każdego żołnierza.

LITERATURA

- [1] Dobrzyński Paweł, Stanisław Lipski, Bogdan Machowski. 2017. *Alerter podczerwieni dla wojsk obrony terytorialnej*. Dokument opracowany na potrzeby Polskiej Grupy Zbrojeniowej S.A. Warszawa: WAT.
- [2] Bir Bhanu, Terry L. Jones. 2004. *Image Understanding Research For Automatic Target Recognition*. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers.
- [3] Dobrzyński Paweł, M. Krawczak, Stanisław Lipski, Bogdan Machowski, Marek Malawski. 2016. „Optoelektroniczny system alarmowania i identyfikacji obiektów stanowiących zagrożenie dla infrastruktury i środowiska”. W *Materiały Konferencyjne VII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej NATCON 2016 „Technologie morskie dla obronności i bezpieczeństwa”*, 131-158.

-
- [4] Kamel Mohamed, Aurélio Campilho. 2013. Image Analysis and Recognition. In *Proceedings of the 10th International Conference ICIAR*, Springer.
 - [5] Ahmed N., KR Rao. 2012. *Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing*. Springer Science & Business Media.
 - [6] Xiaochao Yao. 2006. *Object detection and tracking for intelligent vehicle systems*. University of Michigan-Dearborn.
 - [7] Strobach Peter. 2012. *Linear Prediction Theory: A Mathematical Basis for Adaptive Systems*. Springer Science & Business Media.
 - [8] Alan Wee-Chung Liew. 2003. "An Adaptive Spatial Fuzzy Clustering Algorithm for 3-D MR Image Segmentation". *IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING* 22 (9).
 - [9] Kountchev Roumen, Kazumi Nakamatsu. 2016. *New Approaches in Intelligent Image Analysis: Techniques, Methodologies and Applications*. Springer.
 - [10] Wilk Jacek. 2009. *Techniki cyfrowego rozpoznawania krawędzi obrazów*. Kielce :Wydawnictwo Stowarzyszenia Współpracy Polska-Wschód.
 - [11] Fisher R., S. Perkins, A. Walker, E. Wolfart. 2003. *Hypermedia Image Processing Reference*. John Wiley & Sons.
<http://www.dsi.unive.it/~atorsell/Hipr.pdf>
 - [12] Das Apurba. 2015. *Guide to Signals and Patterns in Image Processing: Foundations, Methods and Applications*. Springer.
 - [13] Bryner Marcel. 2012. *Die Hough-Transformation als Methode zur Kantendetektion*. Alte Kantonsschule Aarau.
 - [14] Dey, Nilanjan, Ashour, Amira, Patra, Prasenjit Kr. 2016. *Feature Detectors and Motion Detection in Video Processing*. IGI Global.
 - [15] Burger Wilhelm, Mark J. Burge. 2010. *Principles of Digital Image Processing: Fundamental Techniques*. Springer Science & Business Media.

The Concept of Miniaturized Low-Cost Infrared Alerter for the Territorial Defense Force

Paweł DOBRZYŃSKI^{1*}, Stanisław LIPSKI²,
Bogdan MACHOWSKI¹ Janusz ROSIAK³

¹*Military University of Technology, Faculty of Mechatronics and Aerospace,
2 gen. Witolda Urbanowicza Str., 00-908 Warsaw, Poland*

²*Institute of Precision Mechanics, 3 Duchnicka Str., 01-796 Warsaw, Poland*

³*PCO S.A., 28 Jana Nowaka-Jeziorańskiego Str., 03-982 Warsaw, Poland*

Abstract. This paper presents the concept of a low-cost alerter project dedicated to the Territorial Defense Force, which could be used as a universal short-range reconnaissance platform for infantry or special forces performing reconnaissance, diversion or cover missions (open, forest, hilly or Involving the need for continuous local or remote control of areas that could occupy an opponent under night cover or attack with air assault).

Keywords: thermal detection systems, infrared alerter, recognition of the battlefield, dual-use systems, mechatronic devices