



Synteza danych w wieloczujnikowym systemie ochrony perymetrycznej obiektów

RAFAŁ DULSKI, MAREK ŻYCKOWSKI, GRZEGORZ BIESZCZAD,
MARIUSZ KASTEK, MIECZYŚLAW SZUSTAKOWSKI,
WIESŁAW CIURAPIŃSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. Zastosowanie wieloczujnikowych urządzeń detekcyjnych zdecydowanie poprawia skuteczność wykrywania intruza, zmniejszając jednocześnie prawdopodobieństwo fałszywego alarmu. W artykule zaprezentowano koncepcję syntezy danych w systemie ochrony zbudowanym w oparciu o radar, kamerę wizyjną oraz kamerę termowizyjną. Opisywany system pracuje pod kontrolą oprogramowania dającego możliwość konstrukcji rozbudowanych systemów ochrony dzięki możliwości podłączania różnorodnych czujników w jeden centralnie sterowany system wieloczujnikowy. Graficzny interfejs operatora daje możliwość kontroli czujników, wizualizacji rezultatów procesu syntezy danych z czujników poprzez sieć TCP/IP, a w konsekwencji przekazuje szczegółowe dane o wykrytych intruzach. Zastosowanie czujników pracujących w różnych kanałach informacyjnych powoduje, że system pracuje skutecznie zarówno w dzień jak i w nocy, niezależnie od warunków pogodowych.

Słowa kluczowe: system wieloczujnikowy, synteza danych, ochrona perymetryczna, radar, kamera wideo, kamera termowizyjna

1. Wprowadzenie

Systemy ochrony obiektów strategicznych lub infrastruktury krytycznej, do których zalicza się: bazy wojskowe, lotniska, magazyny sprzętu wojskowego i paliw, zbiorniki wodne, itp., są rozwijane i stosowane od niemal ćwierć wieku. Jednak wydarzenia ostatnich lat na Bliskim Wschodzie przyspieszyły rozwój nowych koncepcji organizacji skutecznej ochrony dostosowanej do wciąż rosnących możliwości i umiejętności grup terrorystycznych. Postęp technologiczny

w zakresie konstrukcji sprzętu i oprogramowania daje obecnie możliwość budowy i testowania systemów spełniających najnowsze wymagania.

Do stosowanej od prawie ćwierć wieku kamery wizyjnej (VIS) na matrycy CCD, wykrywającej promieniowanie widzialne odbite od obiektu [1, 2], na przełomie wieku dołączyła stosunkowo tania kamera termowizyjna na niechłodzonej matrycy bolometrycznej, wykrywająca kontrast termiczny obiektu na tle sceny. Zastosowanie obu kamer uniezależnia działanie systemu ochrony od oświetlenia sceny, podnosząc istotnie prawdopodobieństwo wykrycia obiektu, zarówno w dzień, jak i w nocy, oraz możliwości jego rozpoznania i identyfikacji [3].

Ponieważ skuteczność działania obu kamer jest podatna na wpływy atmosferyczne (np. mgła posiada cząsteczki wody rezonujące z promieniowaniem podczerwonym w paśmie 3-5 μm) [4-6], system ochrony powinien być wyposażony w dodatkowy czujnik działających również w niesprzyjających warunkach pogodowych. Wymagania takie spełnia mikrofalowy radar naziemny [7]. System skonstruowany jest z urządzeń, które pracują w trzech pasmach widmowych (mikrofałe, podczerwień, widzialne) i uzupełniają się wzajemnie, a tak dobrany zestaw czujników zapewnia prawidłowe działanie w dowolnych warunkach. Zestaw tak dobranych czujników jest ponadto zgodny z założeniem podwójnej, aktywno-pasywnej technologii detekcji intruza [8]. Innym, niezmiernie ważnym skutkiem zastosowania w systemie kamer pracujących w różnych zakresach widmowych jest możliwość użycia metod analizy obrazu prowadzących w konsekwencji do automatycznej detekcji intruza i automatycznego śledzenia jego ruchu w polu obrazowym.

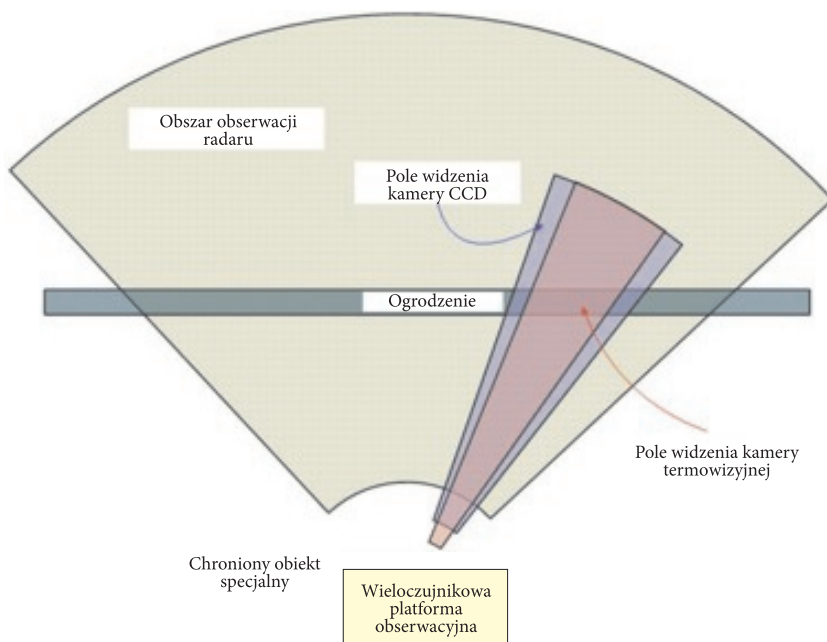
2. Zasada działania systemu ochrony

Efektywny obszar obserwacji wieloczujnikowego systemu ochrony został zaprezentowany schematycznie na rysunku 1.

Radar posiada największy zasięg wykrycia, więc jest czujnikiem, który pierwszy powinien wykryć intruza [9]. W czasie pracy systemu dane z radaru są na bieżąco analizowane, a dane o położeniu intruza są przesyłane do urządzeń wykonawczych sterujących położeniem kamer. Kamery, po nakierowaniu, zaczynają proces śledzenia celu. Zarejestrowane obrazy są w czasie rzeczywistym analizowane przez system, podobnie jak pozostałe informacje mające wpływ na proces wykrycia celu. W końcowym etapie dane ze wszystkich czujników są przetwarzane zgodnie z algorytmem syntezy danych i prezentowane w postaci graficznej na konsoli operatora.

Komputerową wizualizację wieloczujnikowej platformy obserwacyjnej pokazano na rysunku 2.

Platformę obserwacyjną montuje się na wysokości zapewniającej wymagane parametry techniczne systemu, w szczególności wymagany zasięg detekcji.



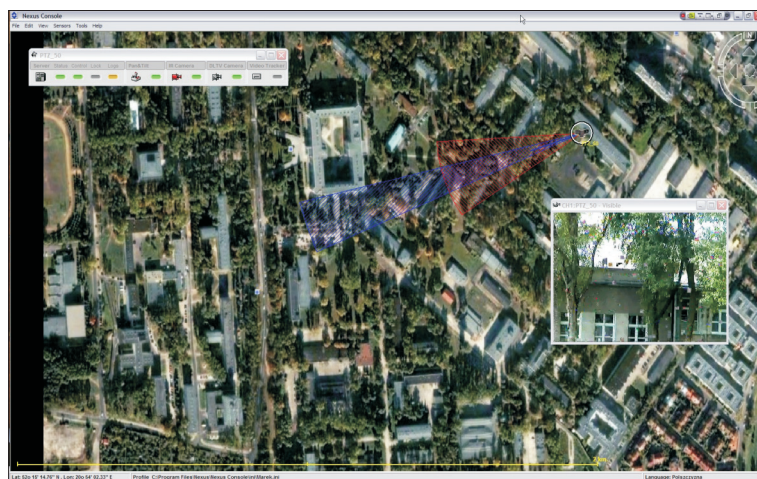
Rys. 1. Obszar obserwacji poszczególnych czujników wieloczułnikowego systemu ochrony



Rys. 2. Widok wieloczułnikowej platformy obserwacyjnej: kopuła radaru (na dole) oraz ruchomy zespół kamer (w części górnej)

W czasie wstępnych testów działania algorytmu syntezy danych, platforma obserwacyjna była zamontowana 6 m powyżej poziomu gruntu. Podczas badań testowych w warunkach poligonowych uzyskano następujące zasięgi detekcji człowieka dla poszczególnych czujników systemu: radar — 780 m, kamera VIS — 760 m, kamera termowizyjna — 480 m.

Efektywność, funkcjonalność systemu ochrony zależą nie tylko od doboru i konfiguracji czujników [10-12]. Niezwykle ważną rolę spełnia tutaj zaimplementowane



Rys. 3. Przykładowy ekran konsoli operatora systemu przedstawiający cyfrową mapę z naniesionymi strefami obserwacji dla kamer wraz z obrazem wideo (po prawej)

oprogramowanie, w szczególności algorytm detekcji oraz sposób wizualizacji danych dla operatora systemu (rys. 3).

Programowa obsługa systemu ochrony (komunikacja pomiędzy czujnikami, sterowanie, wizualizacja) powstała na bazie oprogramowania Nexus firmy FLIR Systems [15]. System Nexus nie zapewnia jednak realizacji wszystkich funkcji opisywanego systemu ochrony. Synteza obrazów, detekcja i śledzenie celów oraz końcowa synteza danych w systemie są realizowane przez osobne oprogramowanie. Jego zadaniem jest także automatyczne testowanie i sygnalizacja występujących awarii wszystkich istotnych podzespołów systemu ochrony. Oprogramowanie sterujące systemem wieloczujnikowym czuwa także nad czytelnością informacji przekazywanych operatorowi (poprzez redukcję nadmiarowych lub nieistotnych w danym momencie informacji), automatycznym alarmowaniem i powiadamianiem.

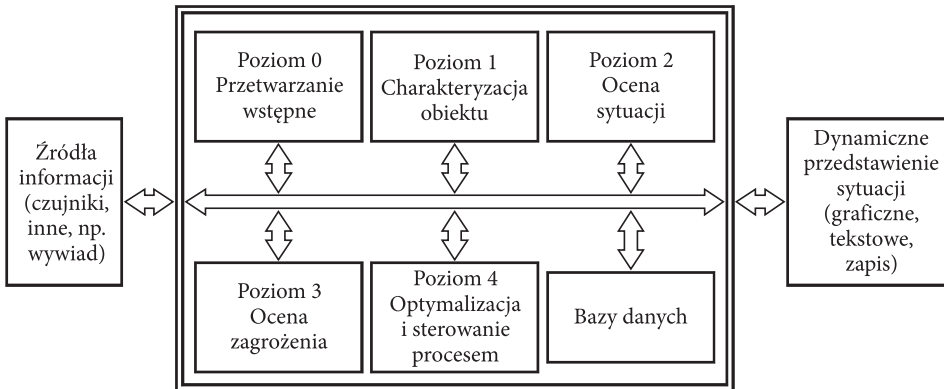
3. Technika syntezy danych

Wykorzystanie informacji docierających do operatora systemu w różnych kanałach informacyjnych wymaga zastosowania odpowiednich technik syntezy danych z poszczególnych czujników [14-16]. Skuteczność systemu wieloczujnikowego może (i powinna) być większa od prostej sumy skuteczności pojedynczych czujników. Korzyści ze stosowania systemów wieloczujnikowych występują jedynie wtedy, gdy dodatkowe czujniki dostarczają uzupełniających się nawzajem informacji.

Zastosowanie systemu wieloczujnikowego zmniejsza prawdopodobieństwo utraty sygnału od obiektu (np. na skutek zniknięcia celu z pola widzenia pojedynczego

czujnika). Innym przykładem uzupełniania się czujników jest sekwencyjne działanie systemu. Czujniki działające w różnych zakresach widma pola elektromagnetycznego (np. radar i czujnik podczerwieni) mają różne pola widzenia. W systemie wieloczujnikowym można zastosować czujnik o szerokim polu widzenia do wstępnej lokalizacji celów, a następnie uaktywniać i kierować na tę lokalizację czujniki o większej rozdzielczości przestrzennej. Jak już wspomniano powyżej, skuteczność działania czujników jest zależna od warunków pogodowych, tła, środków przeciwdziałania, odległości od celu itd. Powoduje to, że pojedynczy czujnik bardzo często działa w warunkach obniżających jego skuteczność. Zastosowanie w systemie czujników o niepokrywających się obszarach niskiej skuteczności, powoduje, że system staje się bardziej niezależny od czynników zewnętrznych. Pasywne czujniki podczerwieni nie dostarczają informacji o odległości do wykrytego obiektu. Zastosowanie w systemie czujnika odległości pozwala na rozpoznanie obiektów słabo rozróżnialnych dla czujnika podczerwieni, podczas gdy czujnik podczerwieni uzupełnia tę informację danymi o wymiarach obiektu. Taka sytuacja ma miejsce np. w syntezie czujnika podczerwieni i radaru.

Synteza danych jest wielopoziomowym procesem przetwarzania danych w systemie wieloczujnikowym. Według systematyki Departamentu Obrony USA [17] synteza danych może być przeprowadzona na poziomach niskich (0-1) i wysokich (2-4). Ten schemat syntezy danych przedstawiony jest na rysunku 4.



Rys. 4. Pięciopoziomowy model syntezy danych

Przetwarzanie na poziomie 0 obejmuje normalizację, formatowanie, grupowanie i kompresję danych wejściowych. Przetwarzanie na poziomie 1 obejmuje wykrycie celu, klasyfikację i identyfikację oraz śledzenie. Jest ono realizowane poprzez syntezę oszacowań położenia i parametrów celu na podstawie danych z poszczególnych czujników. Na poziomie 2 jest dokonywana całkowita ocena sytuacji militarnej oraz określenie położenia i identyfikacja obiektów własnych

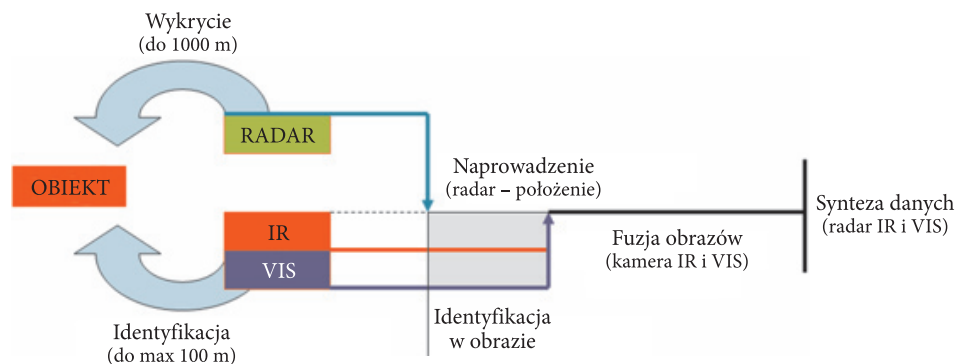
i wroga. Na poziomie 3 przeprowadzana jest całkowita ocena zagrożeń stwarzanych przez rozpoznaną sytuację militarną. Poziom 4 przetwarzania jest to ciągle zwiększanie wiarygodności i precyzji wyników poprzez poprawę oszacowań, określenie potrzeby dodatkowych źródeł danych lub modyfikację procesu pozyskiwania lub przetwarzania danych.

W poniższych rozważaniach skupimy się na poziomie 0 (wstępnym przetwarzaniu danych) oraz poziomie 1, mającym na celu oszacowanie stanu obiektu. Oszacowanie stanu obiektu obejmuje charakteryzację obiektu i jego ruchu. Charakterystyka obiektu jest procesem przetwarzania danych (nie tylko sygnału), w wyniku którego następuje rozpoznanie celu: wykrycie, wyznaczenie orientacji, klasyfikacja i identyfikacja [28]. Wykrycie jest to stwierdzenie obecności obiektu. Orientacja określa symetrię i orientację obiektu. Klasyfikacja przypisuje obiektowi klasę, do której należy np. człowiek, czołg, transporter, ciężarówka. Identyfikacja oznacza wyznaczenie typu obiektu, np. uzbrojony napastnik, czołg T-72. Im wyższy poziom rozpoznania celu, tym większe są wymagania na rozdzielczość czujnika i stosunek sygnału do szumu na jego wejściu.

Algorytmy syntezy danych stosowane na poziomie 1 są zależne od zastosowania, np. śledzenie obiektu realizowane jest na ogół poprzez syntezę w procesorze centralnym, w niewielkim stopniu przetworzonych danych z wielu czujników, podczas gdy identyfikacja wykorzystuje złożone i czasochłonne przetwarzanie danych na wszystkich szczeblach architektury systemu wieloczujnikowego.

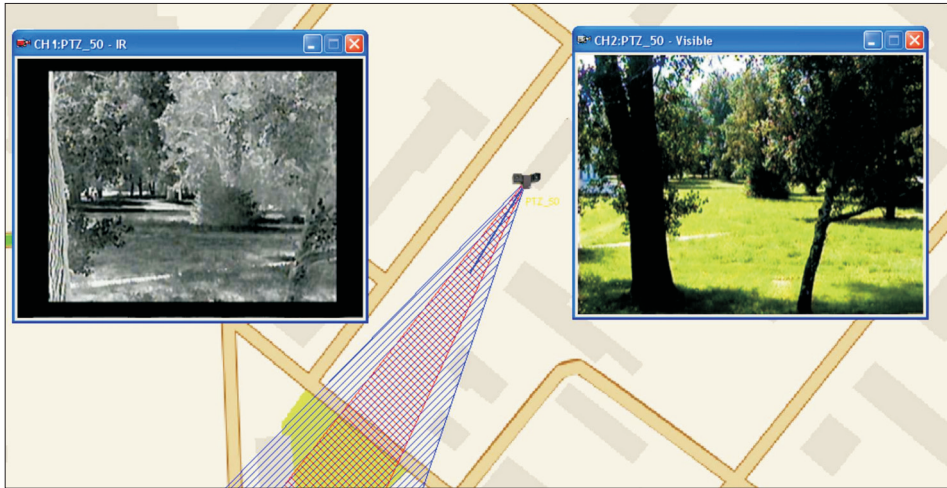
4. Koncepcja syntezy danych w systemie ochrony

Na rysunku 5 przedstawiono schematycznie, a poniżej opisano najważniejsze etapy i procedury działania algorytmu syntezy danych w opisywanym systemie ochrony perymetrycznej.



Rys. 5. Koncepcja syntezy danych z kamer IR, VIS oraz radaru

W momencie wykrycia przez radar potencjalnego celu [9], uzyskane z radaru dane o odległości i orientacji przestrzennej celu determinują kierunek ustawienia osi obserwacji kamer zainstalowanych na platformie obserwacyjnej. Układ analizy obrazu orientuje obraz widzialny i w podczerwieni, dostosowując odpowiednio kąty obserwacji obu kamer (rys. 6). W tym miejscu rozpoczyna się etap syntezy (fuzji) obrazów.



Rys. 6. Ekran programu prezentujący obrazy z systemowych kamer oraz położenie systemu ochrony oraz obszar obserwacji na cyfrowej mapie terenu: kamera termowizyjna — obszar czerwony; kamera wideo — obszar niebieski

Jak widać na rysunku 6, obrazy z kamer różnią się rozdzielczością i rozmiarem. Syntezę takich obrazów można zdefiniować jako [18]:

$$f = f_i^{VIS} \oplus \tilde{f}_i^{IR}(s, \theta, t), \quad (1)$$

gdzie $\tilde{f}_i^{IR}(s, \theta, \lambda)$ jest dopasowanym obrazem z kamery termowizyjnej f_i^{IR} po operacjach: powiększenia o współczynnik s , przesunięcia o wektor t oraz obrocie o kąt θ . Aby nałożyć na siebie oba obrazy, należy wyznaczyć wartości s , θ oraz operator syntezy \oplus . Po określeniu powyżej opisanych współczynników wykonywana jest synteza obrazów w oparciu o dyskretną transformację falkową (DWT) [12-14]. Dla obrazu widzialnego I^{VIS} i obrazu w podczerwieni I^{IR} , oparty na DWT algorytm syntezy obrazu opisany jest zależnością [9]:

$$f = \omega^{-1}(\varphi(\omega(I^{VIS}), \omega(I^{IR}))), \quad (2)$$

gdzie ω oznacza DWT, ω^{-1} odwrotne DWT, φ pewną regułą syntezy obrazów, a f — obraz wynikowy po syntezie.

Każdy z obrazów jest poddawany analizie, w wyniku czego wyznaczane są obszary „podejrzane” o zawieranie celów. Obraz z kamery IR jest binaryzowany z uwzględnieniem zadanych progów detekcji i powstaje maska wyróżniająca interesujące obiekty. Tworzenie maski obrazu polega na tym, że interesujący nas obiekt sprowadzamy do poziomu „wysokiego” reprezentowanego w obrazie kolorem białym, natomiast tło sprowadzamy do poziomu „niskiego” reprezentowanego w obrazie kolorem czarnym. W celu rozdzielenia tła i obrazu wyznaczana jest adaptacyjnie wartość temperatury, poniżej której obiekty traktowane są jako tło, natomiast powyżej — jako informacja użyteczna. Algorytmy wyznaczania granicznego poziomu jasności dla obrazów widzialnych najczęściej bazują na histogramie obrazu. W przypadku obrazów termalnych bardziej odpowiednie jest użycie funkcji gęstości prawdopodobieństwa występowania temperatury. Funkcję tę dyskretyzowano w dziedzinie temperatury, otrzymując histogram występowania temperatur z określonych dyskretnych przedziałów. Podczas dotychczasowych badań zrezygnowano ze stosowania algorytmów bazujących na histogramie i przyjęto arbitralnie domyślny poziom binaryzacji na poziomie 60% dynamiki obrazu.

W dalszej kolejności wyróżnione na masce cele są zaznaczane odpowiednimi kolorami, a maska jest nakładana na obraz widzialny (rys. 7).

Obraz wynikowy powstaje poprzez odpowiednie złożenie obrazu uzyskanego za pomocą przedstawionej powyżej procedury z obrazem IR (rys. 8).



Rys. 7. Koncepcja syntezy obrazów: termogram (po lewej), maska dla ustalonego progu temperaturowego (w środku) oraz efekt nałożenia maski na obraz z kamery VIS (po prawej)



Rys. 8. Końcowy rezultat działania algorytmu syntezy obrazów. Na rysunku obrazy: z kamery termowizyjnej (po lewej), z kamery VIS (po prawej), wynikowy obraz po syntezie (w środku)

W celu zapewnienia jak najlepszej czytelności obrazu w podczerwieni w systemie zastosowano dodatkowo algorytm poprawy jakości obrazu termograficznego. Jego znaczenie oraz sposób działania opisano w następnym punkcie.

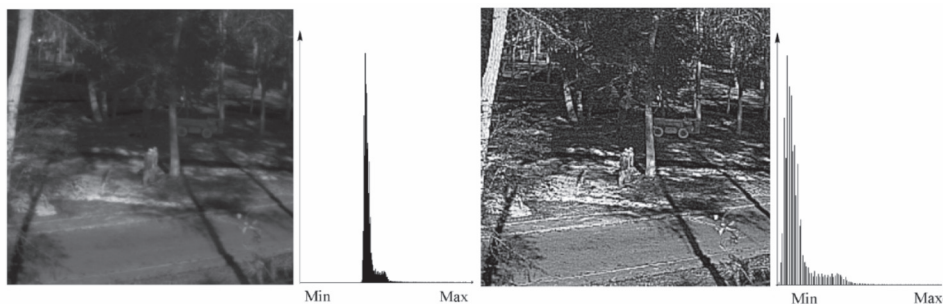
5. Poprawa jakości obrazu w podczerwieni

Specyfika obrazu w podczerwieni powoduje, że jego interpretacja nie jest prostym zadaniem dla obserwatora [19]. Na subiektywny wynik interpretacji informacji zawartych w obrazie niebagatelny wpływ mają własności termalne obserwowanych obiektów i tła. Dlatego nawet optymalne ustawienia kamery dla konkretnej rejestracji (ostrość, zakres temperatury, kadrowanie) nie gwarantuje wykrycia poszukiwanego w obrazie.

Powyższy problem można zredukować, stosując jedną z metod poprawy jakości obrazu [15]. Zastosowanie znanych z fotografii metod poprawy jakości obrazu za pomocą optymalizacji histogramu w przypadku termogramów nie przynosi jednak dobrych efektów. Najlepsze obecnie rozwiązania powyższego problemu wykorzystują metody oparte na adaptacyjnej modyfikacji histogramu obrazu.

W opisywanym systemie ochrony zastosowano algorytm polegający na kompresji tych poziomów intensywności obrazu, które pojawiają się w obrazie rzadko. Taki efekt uzyskuje się poprzez warunkowe traktowanie bliskich sobie poziomów intensywności jako tożsame. W pierwszym kroku wyznaczany jest standardowy histogram obrazu i obliczany próg działania procedury kompresji. Poddane kompresji intensywności są transformowane do nowych wartości przy wykorzystaniu tablicy *LUT* (ang. *Look Up Table*) zgodnych z występującymi w obrazie. W następnym kroku ciągły histogram jest tak rozciągany, aby uzyskać możliwie największe dopasowanie do dostępnego zakresu tonalnego obrazu. W rezultacie poziomy intensywności w obrazie wynikowym rozkładają się bardziej równomiernie.

Rezultat operacji poprawy jakości obrazu termograficznego pokazano na rysunku 9.

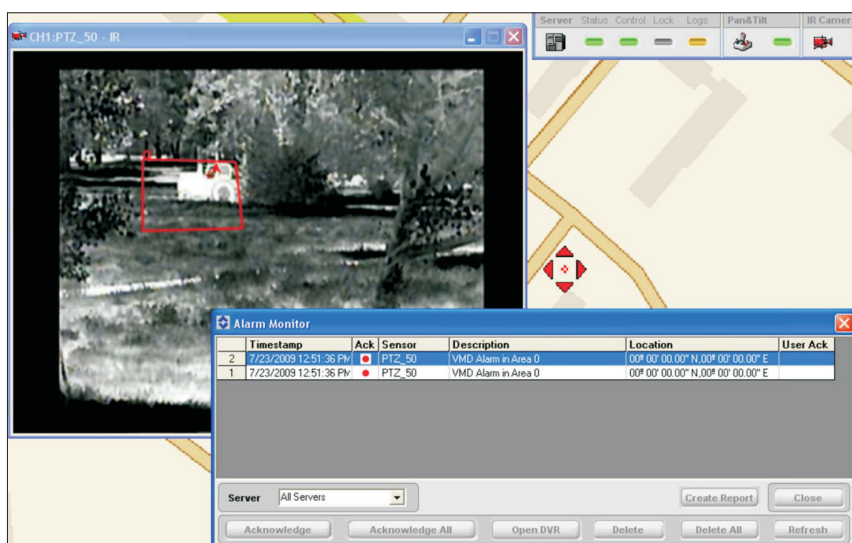


Rys. 9. Obraz wyjściowy (po lewej) oraz rezultat zastosowania algorytmu poprawy jakości obrazu (po prawej)

Końcowym etapem syntezy obrazu jest identyfikacja intruza oraz jego dalsze śledzenie na wyświetlanym przez system obrazie.

6. Śledzenie intruza

System ochrony wyposażono w dwa algorytmy śledzenia [20, 21]. Pierwszy to standardowy algorytm detekcji ruchu (ang. *video motion detection*) pracujący w kanale widzialnym (rys. 10). Drugi algorytm, odpowiedzialny za śledzenie obiektu w podczerwieni, będzie omówiony poniżej.



Rys. 10. Ekran programu z zaznaczonym obszarem detekcji ruchu oraz okno dziennika wykrytych zdarzeń

WieloczuJNIKOWY system ochrony jest systemem, od którego wymagany jest minimalny i gwarantowany czas reakcji, dlatego zaliczyć go można do grupy urządzeń działających w czasie rzeczywistym. Dlatego też w badaniach największy nacisk został położony na znalezienie takiej metody śledzenia, która będzie pracowała w czasie rzeczywistym. Do takich algorytmów można zaliczyć algorytm śledzący cechy obiektu *Mean-Shift* oraz gradientowy algorytm *Sum-of-Squared-Differences* (SSD). Przeprowadzone badania symulacyjne algorytmu *Mean-Shift* wykazały jego małą skuteczność w przypadku śledzenia obiektów składających się z niewielkiej liczby pikseli. Do zadania śledzenia celu w systemie ochrony zaimplementowano algorytm SSD.

Algorytm gradientowy SSD znajduje położenie obiektu poprzez analizę różnic między dwoma kolejnymi klatkami. Zmiany położenia obiektu są szacowane poprzez

znajdowanie gradientów w przestrzeni i w czasie. Współczynnik SSD określa różnicę między dwoma fragmentami obrazu. Oba fragmenty muszą mieć ten sam rozmiar (i najczęściej są to obszary prostokątne). Przyjmując, że dwa fragmenty obrazu (nazywane tutaj oknem) mają rozmiar $(2h + 1)$ na $(2h + 1)$ oraz że są one wycentrowane w punktach (x, y) oraz (u, v) , można dla nich określić współczynnik SSD, korzystając ze wzoru:

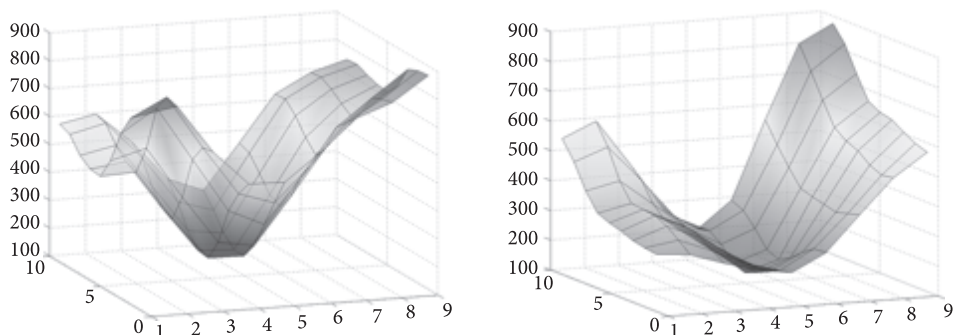
$$SSD = \sum_{i,j} \left[(f_{n-1}(x+i, y+j) - f_n(u+i, v+j))^2 \right], \quad (3)$$

gdzie: $i, j \in [-h, h]$ — położenie punktów względem środka porównywanych fragmentów;
 h — współczynnik reprezentujący rozmiar obiektu.

Jeśli założymy, że śledzony obiekt znajduje się na obrazie f_{n-1} i jest wycentrowany w punkcie (x, y) , to znalezienie obiektu na kolejnej klatce obrazu polega na znalezieniu takiego punktu (u, v) , dla którego współczynnik SSD przyjmuje wartość minimalną. Punkt (u, v) oznaczać będzie środek poszukiwanego obiektu na obrazie f_n . Poszukiwanie minimalnej wartości współczynnika SSD będzie odbywać się jedynie w sąsiedztwie punktu, w którym obiekt ten znajdował się wcześniej. Rozmiar obszaru poszukiwań zależy od założonej wcześniej dynamiki obiektu. Wynika z tego, że należy wyznaczyć, w jakim zakresie obiekt będzie zmieniał swoje położenie na obrazie z ramki na ramkę. Maksymalne przesunięcie obiektu na obrazie wyrażone w pikselach powinno odpowiadać zasięgowi śledzenia. Zwiększenie obszaru śledzenia niesie ze sobą konieczność dokonywania większej ilości obliczeń, gdyż trzeba dokonać większej liczby porównań fragmentów obrazów. Aby zminimalizować liczbę porównywanych obszarów, należałoby zapewnić warunki, w których przesunięcie obiektu pomiędzy kolejnymi ramkami obrazów byłoby jak najmniejsze. Zakładając stałe warunki obserwacji obiektu oraz jego właściwości dynamiczne, można zmniejszyć przesunięcia obiektu z obrazu na obraz poprzez zwiększenie liczby rejestrowanych ramek obrazu w jednostce czasu. Powstały w wyniku obliczeń zestaw współczynników SSD dla fragmentów obrazu można przedstawić w postaci macierzy o takim samym rozmiarze jak obszar poszukiwania. Zestaw wyników porównania dla przykładowego śledzonego obiektu został zaprezentowany na rysunku 11, a na rysunku 12 przedstawiono końcowy rezultat algorytmu, tzn. nałożenie wyznaczonej ścieżki ruchu obiektu na obraz.

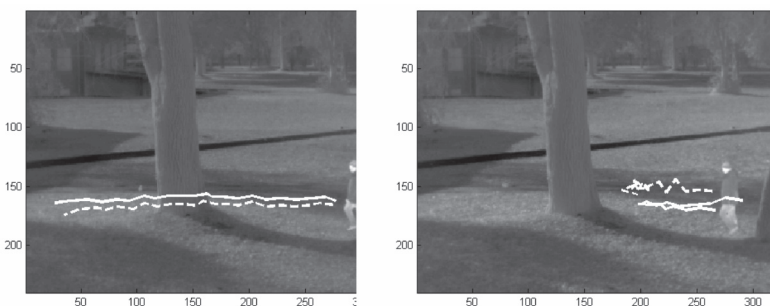
Zestaw obliczonych współczynników został zobrazowany w postaci wykresu wartości SSD w funkcji położenia porównywanego fragmentu względem jego pierwotnego położenia. Widoczne na wykresie minimum SSD pozwala na określenie największego podobieństwa do modelu obiektu.

Procedura śledzenia obiektu dla kolejnych ramek przebiega analogicznie. Znalezione miejsce położenia obiektu na aktualnym obrazie sekwencji definiuje



Rys. 11. Przykładowe zestawy współczynników SSD obliczone dla obszaru w otoczeniu śledzonego obiektu dla dwóch przypadków: obiekt całkowicie widoczny (po lewej), obiekt częściowo zasłonięty (po prawej)

położenie bazowe obiektu. Obszar, w którym znaleziono obiekt, jest traktowany jako model obiektu i używany do obliczenia przesunięcia obiektu na kolejnym obrazie sekwencji. W tym algorytmie kolejny model jest aktualizowany bezkrytycznie. W przypadku gdyby algorytm błędnie wyznaczył położenie obiektu, modelem do porównania dla kolejnych klatek stanie się obszar niezawierający śledzonego obiektu. Takie podejście niesie niebezpieczeństwo, że algorytm śledzenia zapomni oryginalny wygląd obiektu i w ten sposób zgubi obiekt. Podobny efekt mógłby zostać wywołany w przypadku częściowego zakrycia obiektu, gdyż utrata części informacji o obiekcie może spowodować jego błędne zlokalizowanie. Algorytm ten ma dobrą skuteczność krótkoterminową, tzn. z klatki na klatkę, może jednak charakteryzować się niewielką skutecznością długoterminową, gdyż niewielkie zakłócenia, zakrycia, kolizje czy nawet szумы mogą spowodować, że algorytm przestanie śledzić obiekt. Z przeprowadzonych badań wynika jednak, że algorytm może z powodzeniem śledzić obiekty na obrazach termowizyjnych. Przykładowy wynik śledzenia obiektu na obrazie termowizyjnym został zilustrowany na rysunku 12.

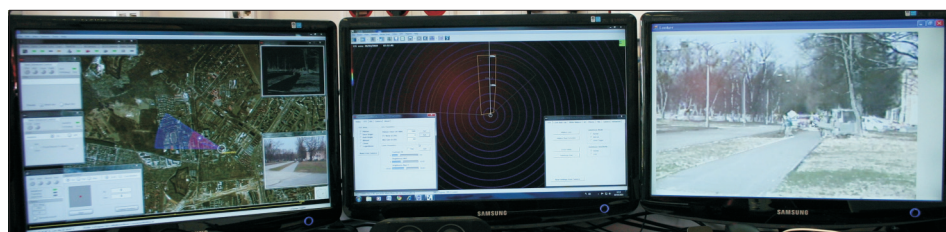


Rys. 12. Przykładowe rezultaty działania algorytmu śledzenia intruza (pierwsza ramka sekwencji obrazów termowizyjnych oraz wyznaczona trajektoria ruchu obiektu dla kolejnych ramek sekwencji)

Ostatnim krokiem działania algorytmu syntezy danych jest dowiązanie danych z radaru i GPS do cyfrowej mapy obserwowanego obszaru.

7. Wnioski

Zastosowanie techniki syntezy danych zdecydowanie poprawia funkcjonalność i parametry systemu ochrony. Możliwość obserwacji chronionego obszaru zarówno w dzień jak i w nocy oraz zastosowanie syntezy obrazów widzialnego i w podczerwieni sprawia, że obraz jest bardziej czytelny, a jego interpretacja łatwiejsza [11]. Wykryte w obszarze cele mogą być w łatwy sposób zaznaczone i śledzone. Zastosowanie algorytmu poprawy jakości obrazu w podczerwieni dodatkowo zwiększa czytelność obrazów w trudnych warunkach obserwacyjnych. Algorytm detekcji ruchu i efektywny algorytm śledzenia obiektów w podczerwieni daje możliwość obserwacji aktywności intruza i podjęcia najodpowiedniejszego przeciwdziałania. Zastosowanie zespolonego interfejsu operatora w postaci stanowiska komputerowego z zestawem monitorów i oprogramowaniem przekazującym operatorowi systemu informacje z poszczególnych czujników oraz rezultaty syntezy danych sprawia, że obsługa systemu jest prosta i intuicyjna (rys. 13). Zastosowanie rozwiązania sprzętowego komunikacji pomiędzy czujnikami w oparciu o architekturę systemu Nexus [13] sprawia, że system jest skalowalny i daje możliwość łatwej integracji systemu z istniejącymi systemami ochrony, a także jego rozbudowy i modyfikacji w zależności od potrzeb.



Rys. 13. Zintegrowana konsola operatora wieloczujnikowego systemu ochrony

Opracowana koncepcja syntezy danych w zaprezentowanym systemie ochrony jest uniwersalna i nadaje się do zastosowania w dowolnych systemach ochrony perymetrycznej. Wykorzystanie jej w konkretnym systemie ochrony wymaga optymalizacji pod kątem doboru czujników, warunków pracy oraz oczekiwanej skuteczności działania.

Przedstawione w artykule badania zostały sfinansowane ze środków na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy nr OR00000705 „Opracowanie modułowego wielosensorowego systemu ochrony naziemnej obiektów strategicznych”.

Artykuł wpłynął do redakcji 14.06.2010 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w listopadzie 2010 r.

LITERATURA

- [1] M. SZUSTAKOWSKI, W. M. CIURAPINSKI, M. ŻYCZKOWSKI, *Trends in optoelectronic perimeter security sensors*, Proc. SPIE 6736, 2007.
- [2] M. ŻYCZKOWSKI, M. SZUSTAKOWSKI, M. KASTEK, W. M. CIURAPIŃSKI, T. SOSNOWSKI, *Module multisensor system for strategic objects protection*, Data Mining X, WIT Press, 2009.
- [3] T. RILEY, S. MOIRA, *Image Fusion Technology for Security and Surveillance Application*, Proc. SPIE 6402, 2006.
- [4] H. MADURA, *Method of signal processing in passive infrared detectors for security systems*, WIT Transactions on Modeling and Simulation, 46, 2007, 757-768.
- [5] M. KASTEK, T. SOSNOWSKI, H. POLAKOWSKI, M. DĄBROWSKI, T. ORŻANOWSKI, *Long-range PIR detector used for detection of crawling people*, Proceedings of SPIE, vol. 7113, 71131F, 2008.
- [6] M. KASTEK, T. SOSNOWSKI, T. PIĄTKOWSKI, *Passive infrared detector used for detection of very slowly moving of crawling people*, Opto-Electronics Review, 16 (3), 2008, 328-335.
- [7] C. J. BAKER, H. D. GRIFFITS, *Bistatic and Multistatic Radar Sensor for Homeland Security*, www.nato-asi.org/sensors2005/papers/baker.pdf.
- [8] P. CORY et al., *Radar-Based Intruder Detector for a Robotic Security System*, www.nosc.mil/robots/pubs/spie3525b.pdf.
- [9] R. DULSKI, M. KASTEK, G. BIESZCZAD, P. TRZASKAWKA, W. CIURAPIŃSKI, *Data fusion used in multispectral system for critical protection*, Data Mining X, WIT Press, 165-173.
- [10] C. HOLST, *Testing of infrared imaging systems*, JVC New York, 1995.
- [11] R. DULSKI, T. NIEDZIELA, *Verification of the correctness of thermal imaging modelling*, Optica Applicata, 31, 1, 2001, 193-202.
- [12] R. DULSKI, H. MADURA, T. PIĄTKOWSKI, T. SOSNOWSKI, *Analysis of a thermal scene using computer simulations*, Infrared Physics & Technology, 49, 2007, 257-260.
- [13] D. L. HALL, J. LLINAS, *An introduction to multisensor data fusion*, Proc. IEEE, 85, 1, 1997, 6-23, NEXUS FLIR Networked Systems, <http://www.flir.com/>.
- [14] L. A. KLEIN, *Sensor and Data Fusion Concepts and Applications*, SPIE, 1993.
- [15] M. SMITH, J. P. HEATHER, *Review of Image Fusion Technology in 2005*, Proc. SPIE 5782, 2005.
- [16] A. STEINBERG, *Sensor and Data Fusion*, The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook, 8, Bellingham, 1993.
- [17] M. SZUSTAKOWSKI, W. M. CIURAPINSKI, M. ŻYCZKOWSKI, N. PALKA, M. KASTEK, R. DULSKI, G. BIESZCZAD, T. SOSNOWSKI, *Multispectral system for perimeter protection of stationary and moving objects*, Proc. of SPIE, 7481, 74810D, 2009.
- [18] R. DULSKI, *Enhancement of the quality of IR images*, Proc. of the Advanced Infrared Technology and Applications AITA 9, Leon, 2008, 271-274.
- [19] LIPTON et al., *Critical Asset Protection, Perimeter and Threat Detection Using Automated Video Surveillance*, www.objectvideo.com.
- [20] LIPTON et al., *Moving Target Detection and Classification from Real-Time Video*, Proc IEEE, Workshop on Application of Computer Visio, 1998.

R. DULSKI, M. ŻYCKOWSKI, G. BIESZCZAD, M. KASTEK,
M. SZUSTAKOWSKI, W. CIURAPIŃSKI

Data fusion in multisensor system for perimeter protection

Abstract. Application of multisensor detecting devices significantly improves the effectiveness of intruder detection and also reduces the false alarm rate. The paper presents the concept of data fusion in a security system comprising of radar and daylight and thermal cameras. The applied control software makes it possible to create advanced multisensor security system, to which different sensor types can be connected using TCP/IP network. The sensor operation can be easily managed by means of graphic user interface, which also visualizes data fusion results and intruder alerts. The integration of sensors working in different information channels assures day/night system operation regardless of weather conditions.

Keywords: multisensor system, data fusion, perimeter protection, radar, video camera, thermal camera

