



Wyznaczanie parametrów zasięgowych kamer obserwacyjnych używanych w systemach ochrony osób i mienia

JAROSŁAW BAREŁA, MARIUSZ KASTEK,
KRZYSZTOF FIRMANTY

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki,
Zakład Techniki Termowizji i Podczerwieni,
00-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2, jbarela@wat.edu.pl, mkastek@wat.edu.pl

Streszczenie. Parametry systemów obserwacyjnych można określać na podstawie: symulacji komputerowych, badań terenowych lub pomiarów laboratoryjnych. W artykule przedstawiono sposób wyznaczania parametrów zasięgowych kamer termowizyjnych oraz VIS na podstawie pomiarów laboratoryjnych z wykorzystaniem kryterium Johnsona, a także modelu TTP. Artykuł zawiera opis metod wyznaczania parametrów zasięgowych oraz stanowiska pomiarowego. W artykule zaprezentowano przykładowe wyniki pomiarów parametrów, dwóch kamer termowizyjnych oraz dwóch kamer VIS, niezbędne do wyznaczenia parametrów zasięgowych.

Słowa kluczowe: systemy termowizyjne, parametry zasięgowe, kryterium Johnsona, model TTP

1. Wstęp

We współczesnych systemach obserwacyjnych wykorzystuje się: kamery termowizyjne, kamery VIS (ang. *Visual Inspection Camera*), przyrządy noktowizyjne i LLLTV (ang. *Light Low Level Television*). Są one ważnym elementem systemów ochrony i zabezpieczenia budynków. Pozwalają prowadzić skuteczną obserwację terenu w warunkach dziennych i nocnych.

Wzrost dostępności matryc detektorów oraz obniżenie ich kosztów spowodowało wzrost liczby producentów kamer obserwacyjnych. Zwiększenie oferty rynkowej daje nam większą możliwość wyboru. Nie jest on jednak prosty i oczywisty, bo trudno

wiarygodnie porównać parametry kamer obserwacyjnych. W danych katalogowych producenci najczęściej podają zasięg detekcji, rozpoznania i identyfikacji standardowych celów (człowiek, samochód). Nie zaznaczają jednak, w jaki sposób zasięgi te zostały wyznaczone i dla jakich parametrów atmosferycznych.

Parametry systemów obserwacyjnych można określać na podstawie symulacji komputerowych, badań terenowych oraz pomiarów laboratoryjnych. Symulacje komputerowe pozwalają wyznaczyć zasięgi teoretyczne na podstawie budowy kamery obserwacyjnej. Wymagają znajomości dokładnych parametrów układów optycznych, matrycy detektorów, układów elektronicznych przetwarzania i wyświetlania obrazu. Nie są więc możliwe do przeprowadzenia przez kupującego. Wiarygodne pomiary terenowe są trudne do przeprowadzenia, wymagają dużej wiedzy oraz są bardzo kosztowne. Pomiary laboratoryjne są najbardziej wiarygodne, ale wymagają posiadania specjalistycznego sprzętu pomiarowego oraz znajomości specyfiki pomiaru parametrów urządzeń obserwacyjnych.

W artykule przedstawiono sposób wyznaczania parametrów zasięgowych kamer termowizyjnych oraz VIS na podstawie pomiarów laboratoryjnych, wykorzystując kryterium Johnsona oraz model TTP (ang. *Targeting Task Performance*). Zasadniczą częścią artykułu są wyniki pomiarów parametrów zasięgowych dwóch kamer termowizyjnych i dwóch kamer VIS przeprowadzone w Akredytowanym Laboratorium Instytutu Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej.

2. Metody wyznaczania parametrów zasięgowych

Istnieje kilka metod określania parametrów zasięgu wykrycia, rozpoznania i identyfikacji celu urządzeń obserwacyjnych. Najstarszą i najbardziej rozpowszechnioną jest kryterium Johnsona [1]. Najnowszą, najbardziej kompleksową i wiarygodną jest metoda TTP [2].

Oryginalne kryterium Johnsona zostało opublikowane w 1958 roku. Podaje ono zależność między rozdzielczością przestrzenną wykrywanych testów przez obserwatora a zasięgami detekcji, rozpoznania i identyfikacji określonego celu. Innymi słowy pozwala wyznaczyć zasięg wykrycia, rozpoznania i identyfikacji celu z prawdopodobieństwem 50% na podstawie zmierzonej charakterystyki rozdzielczości przestrzennej urządzenia obserwacyjnego. Dla urządzeń pracujących w zakresie promieniowania widzialnego należy zmierzyć charakterystykę minimalnego rozróżnialnego kontrastu MRC (ang. *Minimum Resolvable Contrast*) [3-4], a dla urządzeń pracujących w zakresie promieniowania podczerwonego trzeba zmierzyć charakterystykę minimalnej rozróżnialnej różnicy temperatur MRTD (ang. *Minimum Resolvable Thermal Difference*) [5-7]. Na podstawie zmierzonych charakterystyk parametry zasięgowe urządzeń obserwacyjnych możemy wyznaczyć dla różnych warunków atmosferycznych i różnych celi.

Kryterium Johnsona wprowadza pojęcie zasięgów wykrycia, orientacji, rozpoznania i identyfikacji. Wykrycie celu z danej odległości oznacza stwierdzenie, że coś znajduje się w polu widzenia urządzenia obserwacyjnego. Zasięg orientacji pozwala nam na określenie, czy cel jest symetryczny. Rozpoznanie celu oznacza możliwość stwierdzenia, czy jest to czołg, czy samochód. Identyfikacja celu pozwala na określenie np. typu czołgu. Johnson wyznaczył na podstawie badań poligonowych, ile cykli testu MRTD, współczynnik N_{50} , musi przypadać na cel, aby wyznaczyć zasięgi detekcji rozpoznania.

Współczesne badania wykazały, że w celu wiarygodnego wyznaczania zasięgów należy nieznacznie zmodyfikować wartości współczynnika N_{50} [8].

Pomiar charakterystyki MRTD oraz sposób wyznaczenia zasięgów urządzenia zostały określone normami NATO. Normy te są jedynym ratyfikowanym dokumentem pozwalającym wyznaczać parametry zasięgowe urządzeń obserwacyjnych. Normy NATO opisujące sposób pomiaru charakterystyki MRC oraz wyznaczenie na jej podstawie zasięgów jedynie spisano. Nie zastały natomiast ratyfikowane.

TABELA 1

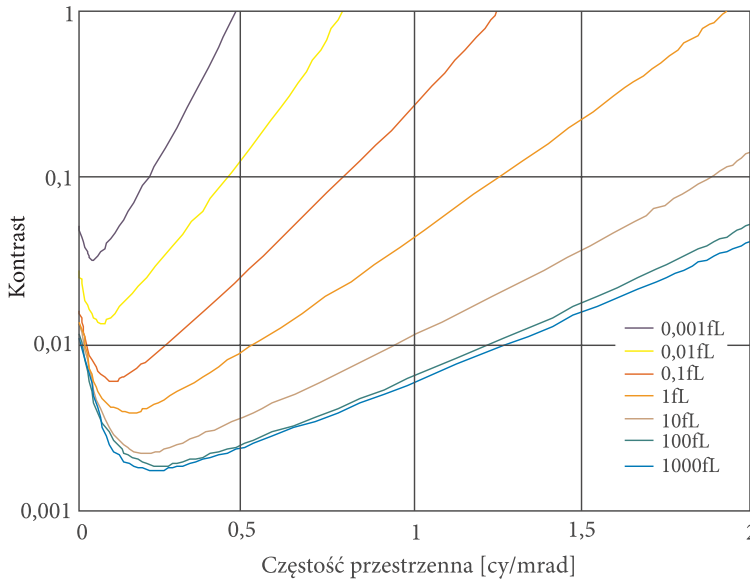
Wymagana liczba par linii potrzebna do detekcji, rozpoznania i identyfikacji
wybranej grupy celi według zmodyfikowanego kryterium Johnsona

Rodzaj celu	Wymagana liczba par linii		
	Detekcja	Rozpoznanie	Identyfikacja
Samochód ciężarowy	0,90	4,50	8,00
Czołg M-48	0,70	3,50	7,00
Czołg T-72	0,75	3,30	6,00
Półciężarówka	1,00	4,00	5,00
Jeep	1,20	4,50	5,50
Samochód dowodzenia	1,20	4,30	5,50
Żołnierz stojący	1,50	3,80	8,00
Haubica 105	1,00	4,80	6,00
Wartość średnia	$1,00 \pm 0,25$	$4,00 \pm 0,35$	$6,40 \pm 1,50$

Kryterium Johnsona było wielokrotnie modyfikowane i ma istotny wkład w rozwój metod określania parametrów urządzeń obserwacyjnych. Rozwój technik obserwacyjnych spowodował jednak, że parametry wyznaczane na podstawie kryterium Johnsona nowoczesnych urządzeń obserwacyjnych są nie do końca wiarygodne. Dotyczy to głównie nowoczesnych obrazujących urządzeń próbkujących posiadających cyfrowe moduły obróbki i fuzji obrazu. Nie uwzględniają one wpływu na zasięgi szumów obrazu, elektronicznych układów podbijania wysokich częstotliwości, filtracji cyfrowej obrazu oraz interpolacji.

Model TTP rozwijany jest przez U.S. Army's Night Vision and Electronic Sensors Directorate od 2000 roku [9-24]. Obecnie jest on podstawowym sposobem pomiaru parametrów urządzeń obserwacyjnych armii USA. Prowadzone badania mają na celu dokładne określenie wpływu poszczególnych parametrów badanego urządzenia na wyniki pomiarów parametrów zasięgowych urządzeń obserwacyjnych oraz wyznaczenie parametru V50 dla poszczególnych grup celów. Prace mają się zakończyć opracowaniem nowych norm NATO.

Model TTP jest modelem kompleksowym uwzględniającym wszystkie elementy systemu obserwacyjnego [25]. Model zakłada, że doświadczony i dobrze wyszkolony obserwator jest w stanie wykryć cel o określonym rozmiarze kątowym tylko wówczas, jeżeli kontrast obiektu na ekranie urządzenia jest większy od zdolności rozdzielczej oka ludzkiego. Urządzenie obserwacyjne posiada lepsze parametry zasięgowe, jeżeli umożliwi wykrycie celu z większej odległości dla danych warunków atmosferycznych.



Rys. 1. Zależność minimalnego rozróżnialnego kontrastu obiektu od częstotliwości przestrzennej obserwowanego obiektu dla różnych wartości luminancji obrazu

Model TTP pozwala wyznaczyć prawdopodobieństwo detekcji, rozpoznania i identyfikacji celu z zależności:

$$P = \frac{\left(\frac{N_{\text{sampled}}}{V_{50}}\right)^E}{1 + \left(\frac{N_{\text{sampled}}}{V_{50}}\right)^E}, \quad (1)$$

gdzie: $E = 1,51 + 0,24 \times N_{\text{sampled}}/V_{50}$;

V_{50} — współczynnik trudności wykonania zadania;

N_{sampled} — liczba pikseli obrazu przypadających na cel na ekranie wyświetlacza.

Współczynnik V_{50} jest wyznaczany doświadczalnie podczas badań terenowych dla poszczególnych grup celi oraz zakresów widmowych obserwacji. Można go również wyznaczyć na podstawie wartości współczynnika N_{50} [2]. Obecnie duży nacisk położony jest na określenie wartości współczynnika V_{50} dla zadania identyfikacji przedmiotów znajdujących się w dłoniach ludzi (pistolet, nóż, granat, telefon, kamień) [18, 19].

Wartość wyznaczamy na podstawie zależności

$$N_{\text{sampled}} = N_{\text{resolved}} \cdot \sqrt{1 - 0,58 \cdot SRRH_{\text{out}}} \cdot \sqrt{1 - 0,58 \cdot SRRV_{\text{out}}}, \quad (2)$$

gdzie: N_{resolved} — liczba punktów obrazu przypadających na cel przed próbkowaniem;

$SRRH_{\text{out}}$, $SRRV_{\text{out}}$ — funkcje opisujące wpływ procesu próbkowania na parametry zasięgowe urządzenia

N_{resolved} jest wyznaczany z zależności:

$$N_{\text{resolved}} = \frac{\sqrt{A_{TGT} \cdot TTP_H \cdot TTP_V}}{\text{Range}}, \quad (3)$$

gdzie:

$$TTP_H = \int_{\xi_{\text{low}}}^{\xi_{\text{out}}} \left[\frac{C_{TGT}}{CTFH_{\text{sys}}(\xi)} \right]^{1/2} d\xi, \quad (4)$$

$$TTP_V = \int_{\eta_{\text{low}}}^{\eta_{\text{cut}}} \left[\frac{C_{TGT}}{CTF_{\text{sys}}(\eta)} \right]^{1/2} d\eta, \quad (5)$$

gdzie:

$$C_{TGT} = \frac{T_{TGT}}{2 \cdot SCN_{TMP}}, \quad (6)$$

$$CTF_{\text{sys}}(\xi_{\text{eye}}) = \frac{CTF_{\text{eye}}(\xi_{\text{eye}})}{MTF_{\text{sys}}(\xi_{\text{eye}})} \cdot \sqrt{1 + \alpha^2 \cdot \frac{\sigma^2}{L^2}}, \quad (7)$$

gdzie: T_{TGT} — kontrast termiczny celu względem otoczenia docierający do kamery termowizyjnej;
 $\xi_{\text{eye}}, \xi_{\text{eye}}$ — częstość przestrzenna mierzona względem oka;
 α — stała kalibracyjna;
 σ — szumy przestrzenne zmierzone na wyświetlaczu.

Wartość T_{TGT} obliczamy na podstawie wartości T_{TGT-0} , korzystając z prawa Beera lub oprogramowania MODTRAN. SCN_{TMP} — jest to zmiana kontrastu celu względem otoczenia powodująca zmianę luminancji celu względem otoczenia na wyświetlaczu od wartości zero do wartości średniej luminancji wyświetlacza.

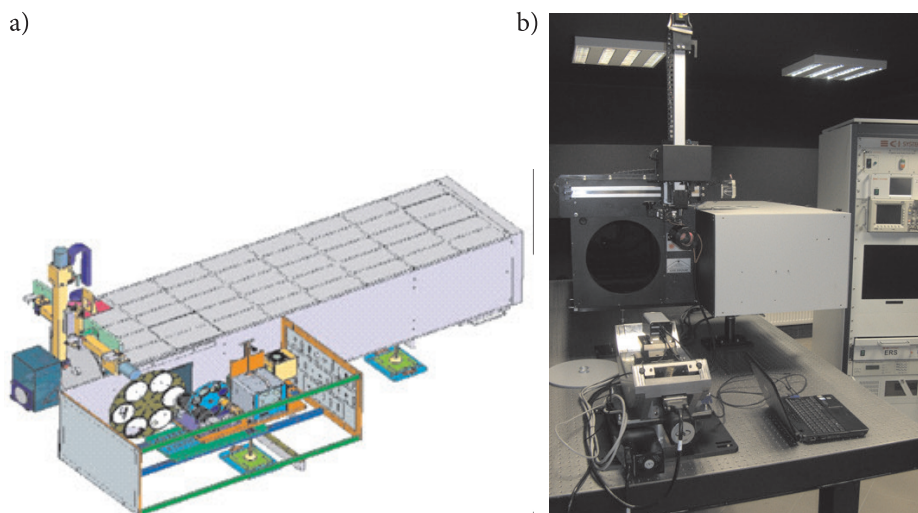
3. Stanowisko pomiarowe

W celu wyznaczenia parametrów zasięgowych kamer termowizyjnych zgodnie z kryterium Johnsona należy wyznaczyć charakterystykę minimalnej rozróżnialnej temperatury MRTD. Natomiast, aby wyznaczyć parametry zasięgowe kamer VIS, należy przedstawić charakterystykę minimalnego rozróżnialnego kontrastu MRC. Metodyka pomiaru tych charakterystyk opisana jest w normach NATO [36].

Aby wyznaczyć parametry zasięgowe urządzeń obserwacyjnych (kamer termowizyjnych i VIS) zgodnie z modelem TTP, należy zmierzyć następujące parametry: pionową i poziomą charakterystykę presample MTF (ang. *Modulation Transfer Function*), poziomą i pionową charakterystykę MTF systemu, wartość szumów przestrzennych systemu, funkcję przenoszenia sygnału SiTF (ang. *Signal Transfer Function*). Metodyka pomiaru powyższych parametrów szeroko opisana jest w literaturze [26-29].

Stanowisko pomiarowe powinno składać się z: kolimatora, wzorca promieniowania podczerwieni, wzorca promieniowania widzialnego, sterowników wzorców promieniowania, obrotowej tarczy z zestawem testów, obrotowej tarczy z zestawem filtrów, obrotowej podstawy, komputera wraz z pomiarową kartą wideo

i specjalistycznym oprogramowaniem (rys. 2). Istnieje kilka firm oferujących systemy do pomiaru parametrów urządzeń obserwacyjnych [30-32].



Rys. 2. Schemat stanowiska do pomiaru parametrów kamer termowizyjnych (a), zdjęcie stanowiska do pomiaru parametrów obserwacyjnych kamer termowizyjnych (b)

Ponieważ większość urządzeń obserwacyjnych przystosowana jest do obserwacji obiektów znajdujących się w dużej odległości od urządzenia obserwacyjnego, w stanowisku pomiarowym wykorzystuje się kolimator. Tarcza wraz zestawem testów jest umieszczona w płaszczyźnie ogniskowej kolimatora. Za testami znajduje się wzorzec promieniowania. W efekcie, regulując temperatury lub luminancję wzorca promieniowania, w płaszczyźnie ogniskowej kolimatora powstaje założony rozkład promieniowania. Stanowisko pomiarowe powinno zapewnić pomijalny wpływ na wyniki pomiaru następujących czynników: skończonych wymiarów testu, atmosfery, promieniowania otoczenia, niejednorodności rozkładu promieniowania na powierzchni testu, zniekształceń geometrycznych i radiometrycznych kolimatora podczerwieni.

4. Wyniki pomiarów

Pomiary parametrów urządzeń obserwacyjnych, przedstawione w artykule, wykonano w Instytucie Optoelektroniki WAT na stanowisku pomiarowym MST firmy CI SYSTEM [33] dla dwóch obserwacyjnych kamer termowizyjnych oraz dwóch kamer VIS.

Kamera IR1 jest typową kamerą obserwacyjną stosowaną w systemach ochrony obiektów. Jest to kamera mikrobolometryczna bez stabilizacji punktu pracy. Kamera IR2 jest chłodzoną kamerą termowizyjną. Podstawowe parametry kamer przedstawiono w tabeli 3. Kamera VIS1 to mała kamera stosowana często w systemach ochrony budynków. Kamera VIS2 jest dużą kamerą obserwacyjną o aperturze wejściowej 115 mm z dwoma elektrycznie przełączanymi obiektywami.

Wyniki pomiarów kamer termowizyjnych charakterystyk MRTD oraz MTF i pre-sample MTF przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Wyniki pomiarów kamer VIS charakterystyk MRC oraz MTF i pre-sample MTF przedstawiono na rysunkach 5 i 6. Wartość szumów systemu Sigma TVH wyznaczona na podstawie modelu 3D dla kamery IR1 wynosi 0,132 mV, a dla kamery IR2 0,039 mV. Wartość SCN_{TMP} obliczonej na podstawie funkcji przenoszenia sygnału SiTF dla kamery IR1 wynosi 0,182, a dla kamery IR2 0,147. Wartość szumów systemu Sigma TVH wartości dla kamery VIS1 wynosi 0,021 mV, a dla kamery VIS2 0,029 mV.

TABELA 2

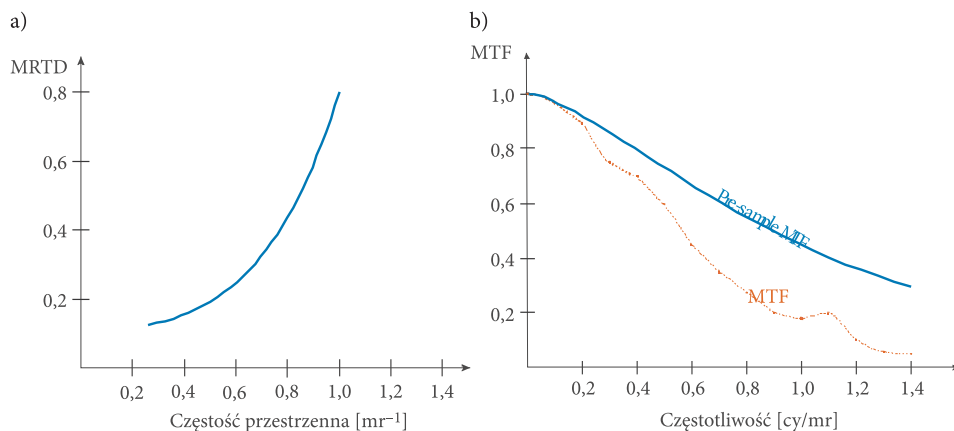
Parametry badanych kamer IR

Parameters	Camera IR1	Camera IR2
Sensor type	Uncooled VOx microbolometer	InSb
Spectral range	7,5-13 μm	2,5-5,1 μm
FPA size	320 \times 240	640 \times 512
Pixel pitch	38 μm	15 μm
FOV	14° \times 10,5°	5,5° \times 4,4°
F_{rate}	8,3 Hz	50 Hz
DZoom	\times 2	\times 2

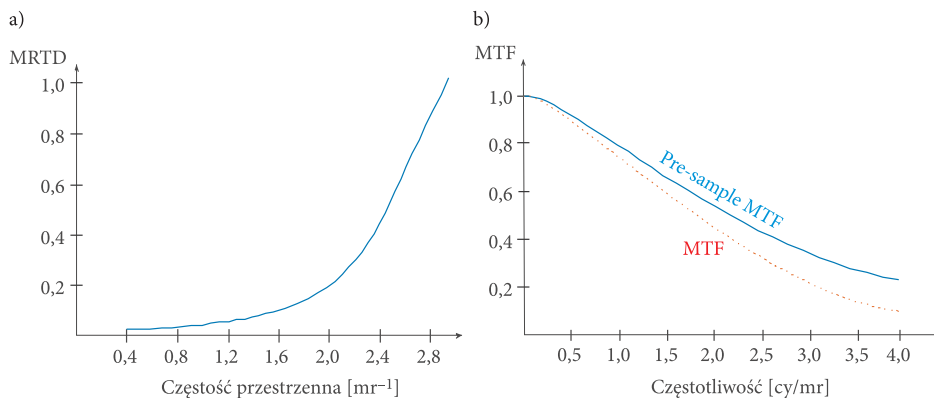
TABELA 3

Parametry badanych kamer VIS

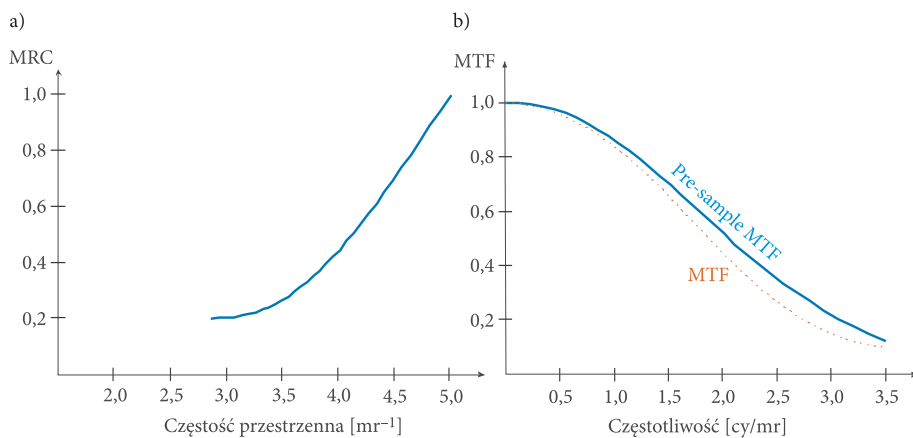
Parameters	Camera VIS1	Camera VIS2
Sensor type	1/4"CCD	1/3"CCD
Apertura	30 mm	115 mm
Resolution	530TVL	550TVL
Optical Zoom	\times 26	\times 100
Min. illumination	0,01 Lux	0,00003 Lux
SNR	> 50 dB	> 50 dB
Video output	VBS: 1,0 V_{p-p}	VBS: 1,0 V_{p-p}



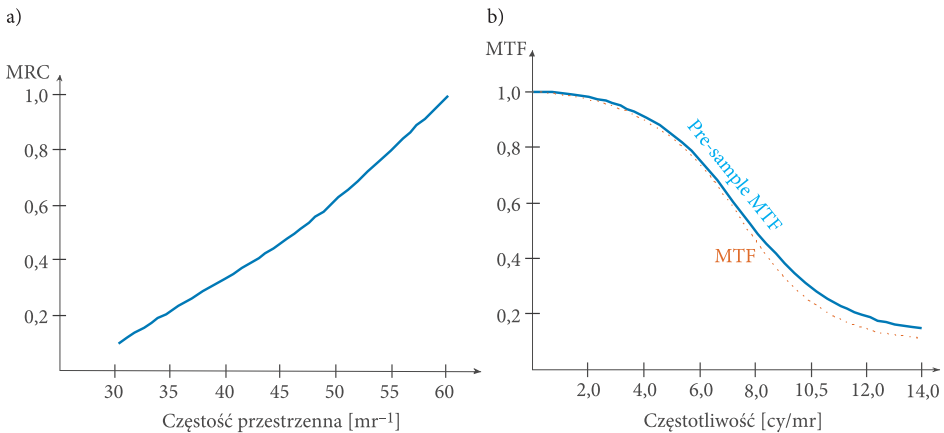
Rys. 3. Funkcja MRTD (a) oraz funkcja MTF i pre-sample MTF (b) kamery IR1



Rys. 4. Funkcja MRTD (a) oraz funkcja MTF i pre-sample MTF (b) kamery IR2



Rys. 5. Funkcja MRC (a) oraz funkcja MTF i pre-sample MTF (b) kamery VIS1

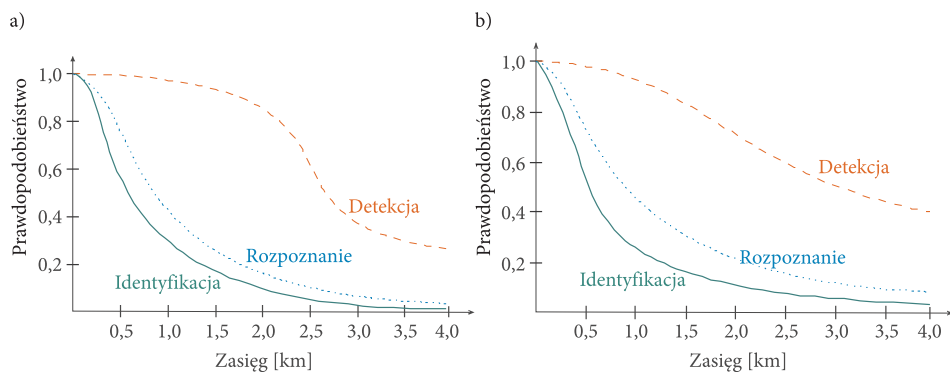


Rys. 6. Funkcja MRC (a) oraz funkcja MTF i pre-sample MTF (b) kamery VIS2

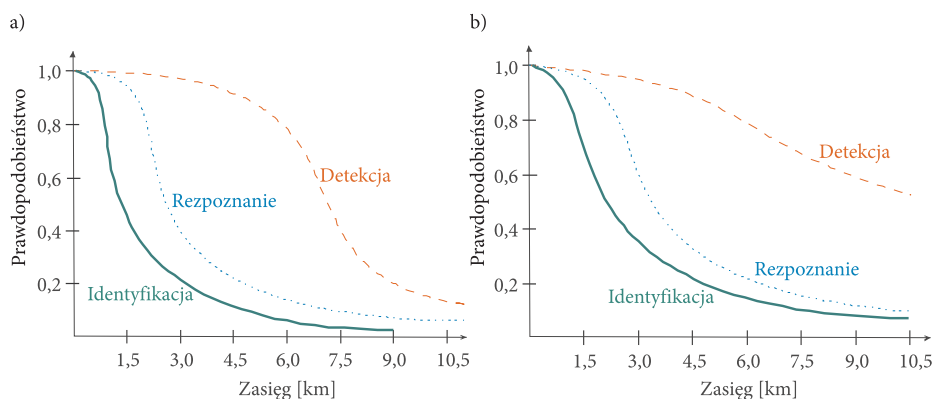
Na podstawie zmierzonych parametrów wyznaczono zasięgi wykrycia, rozpoznania i identyfikacji standardowego celu NATO. Do obliczenia przyjęto następujące założenia:

- wielkość celu $2,3 \times 2,3$ m (standardowy cel NATO),
- współczynnik ekstynkcji atmosfery $0,2 \text{ km}^{-1}$,
- różnica temperatury między celem a otoczeniem dla kamer IR $\Delta T = 2 \text{ K}$,
- kontrast celu względem otoczenia dla kamer VIS 40%.
- wartość współczynnika SGR 3,
- wartość współczynnika N50: detekcja — 1,0, rozpoznanie — 4,0, identyfikacja — 8,0,
- wartości współczynnika V50: detekcja — 2,0, rozpoznanie — 7,5, identyfikacja — 13,0.

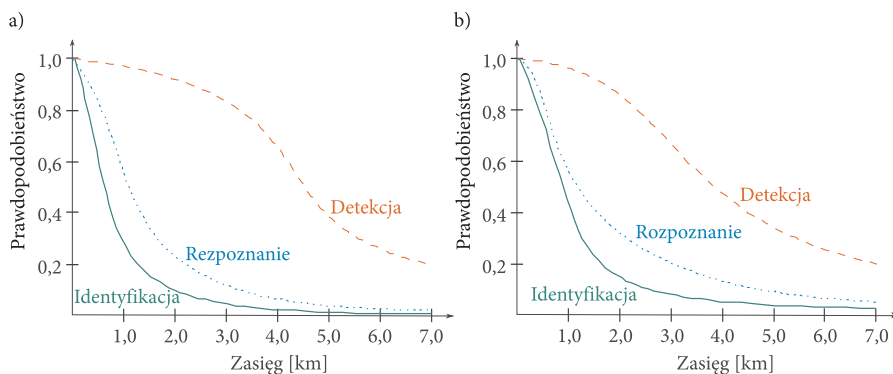
Obliczenia zasięgów wykonano w programie Matlab, korzystając z dokumentacji kryteriów oraz teorii filtracji liniowej [35-39], a wyniki przedstawiono na rysunkach 7-10.



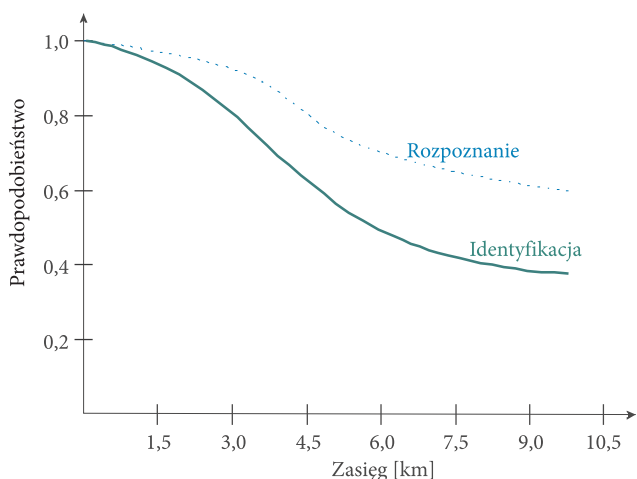
Rys. 7. Prawdopodobieństwo detekcji, rozpoznania i identyfikacji standardowego celu NATO wyznaczone zgodnie z kryterium Johnsona (a) oraz modelem TTP (b) dla kamery IR1



Rys. 8. Prawdopodobieństwo detekcji, rozpoznania i identyfikacji standardowego celu NATO wyznaczone zgodnie z kryterium Johnsona (a) oraz modelem TTP (b) dla kamery IR2



Rys. 9. Prawdopodobieństwo detekcji, rozpoznania i identyfikacji standardowego celu NATO wyznaczone zgodnie z kryterium Johnsona (a) oraz modelem TTP (b) dla kamery VIS1



Rys. 10. Prawdopodobieństwo rozpoznania i identyfikacji standardowego celu NATO wyznaczone zgodnie z modelem TTP dla kamery VIS2

5. Wnioski

Kryterium Johnsona pozwala na wyznaczenie parametrów zasięgowych urządzeń obserwacyjnych na podstawie zmierzonej charakterystyki MRTD lub MRC. Pomiarzy tych charakterystyk są subiektywne. Wyniki w dużej mierze zależą od wyszkolenia obserwatora. Na podstawie danych literaturowych oraz pomiarów własnych można stwierdzić, że względna niepewność standardowa pomiaru charakterystyk wynosi 25%. Pomiar jest czasochłonny i wymaga bardzo dobrej znajomości procedur pomiarowych oraz obsługi kamery. Kryterium Johnsona nie pozwala wiarygodnie wyznaczyć parametrów zasięgowych kamer VIS charakteryzujących się dużym powiększeniem, czego przykładem jest kamera VIS2. Z obliczeń wynikało, że zasięg detekcji wynosi powyżej 35 km, a rozpoznania powyżej 15 km. Z dodatkowych badań wynika jednak, że kamera ta nie jest w stanie wykrywać celi o kontraście mniejszym niż 0,5%, czyli dla przyjętych założeń nie jesteśmy w stanie wykryć celu z odległości większej niż 10 km.

Model TTP pozwala nam wyznaczyć parametry zasięgowe urządzeń termowizyjnych na podstawie pomiarów laboratoryjnych w sposób obiektywny. Wymaga wykonania pomiarów czterech parametrów systemu obserwacyjnego: funkcji MTF, pre-sample MTF, SiTF oraz szumów 3D systemu. Pomiar szybki może zostać przeprowadzony przez jedną osobę. Pomiar może być zautomatyzowany. Niepewność standardowa pomiaru poszczególnych parametrów zależy od dokładności urządzeń pomiarowych i nie przekracza 2%.

Model TTP jest najbardziej kompleksowym istniejącym modelem pomiaru parametrów zasięgowych urządzeń obserwacyjnych. Nie jest modelem prostym,

dla typowego użytkownika urządzeń obserwacyjnych może być trudny do zrozumienia. Z drugiej strony kryterium Johnsona też jest niezrozumiałe dla większości użytkowników. Model TTP uwzględnia nowe aspekty zastosowania urządzeń obserwacyjnych.

Model TTP jest „naturalnym następcą” kryterium Johnsona. Wyniki uzyskane są zbieżne, ale nie takie same. Został on wprowadzony, ponieważ parametry zasięgowe nowoczesnych kamer termowizyjnych wykorzystujące funkcje filtracji i obróbki cyfrowej obrazu, wyznaczone na podstawie kryterium Johnsona, znacznie różniły się od wyników uzyskanych na podstawie badań terenowych.

Model TTP nie jest jednak pozbawiony wad. Nie pozwolił on wiarygodnie wyznaczyć prawdopodobieństwa detekcji zasięgu kamery VIS2. Jest rozpowszechniony głównie w USA. Większość producentów nadal parametry zasięgowe podaje, korzystając z kryterium Johnsona. Brakuje dogłębnej analizy wpływu poszczególnych parametrów systemu obserwacyjnego, normy opisującej proces pomiaru oraz metodyki wyznaczania parametrów zasięgowych na podstawie zmierzonych parametrów.

W opinii autorów wyniki uzyskanego na podstawie Modelu TTP są bardziej wiarygodne niż uzyskane według kryterium Johnsona. Uwzględniają wszystkie aspekty procesu obserwacji elektronicznej i pozwalają zautomatyzować proces pomiaru parametrów urządzeń. Model TTP powinien być stosowany do wyznaczania katalogowych parametrów zasięgowych urządzeń obserwacyjnych.

LITERATURA

- [1] J. JOHNSON, *Analysis of imaging forming systems*, Proceedings of the Image Intensifier Symposium, U.S. Army Engineer Research and Development Lab, Ford Belvoir, VA, 1958, 249-273.
- [2] R.H. VOLLMERHAUSEN, D.A. REAGO, JR., R.G. DRIGGERS, *New Model for predicting Target Acquisition Performance*, Infrared Imaging Systems: Analysis, Modeling and Testing XIV, G.C. Holst, Editor, Proceedings of SPIE, 5076, 2003.
- [3] STANAG 4348, *Definition of nominal static performance for image intensifier systems*.
- [4] STANAG 4351, *Measurement of the minimum resolvable contrast (MRC) of image intensifier systems*.
- [5] STANAG 4349, *Measurement of the minimum resolvable temperature difference (MRTD) of thermal cameras*, 1995.
- [6] STANAG 4347, *Definition of nominal static ranger performance for thermal imaging systems*, 1995.
- [7] *North Atlantic Treaty Organization*, Experimental Assessment Parameters and Procedures for Characterization of Advanced Thermal Imagers, 2003.
- [8] *North Atlantic Treaty Organization*, Flight Test Activities, RTO-AG-300-V26.
- [9] R.H. VOLLMERHAUSEN, R.G. DRIGGERS, M. TOMKINSON, *Improved image quality metric for predicting tactical vehicle identification*, Proc. SPIE, 4030, 2000, 60-69.
- [10] R.H. VOLLMERHAUSEN, E. JACOBS, *The Targeting Task Performance (TTP) Metric. A New Model for predicting Target acquisition Performance*, Technical report AMSEL-NV-TR-230, 2004.
- [11] R.G. DRIGGERS, R.H. VOLLMERHAUSEN, K.A. KRAPELS, *Target identification performance as a function of low spatial frequency image content*, Optical Engineering, 39 (09), 2000.

-
- [12] R.H. VOLLMERHAUSEN, D.A. REAGO, JR., R.G. DRIGGERS, *Analysis and Evaluation of Sampled Imaging Systems*, SPIE Press, Bellingham, WA, 2010.
- [13] R.H. VOLLMERHAUSEN, R.G. DRIGGERS, *Analysis of Sampled Imaging Systems*, SPIE Press, Bellingham, WA, 2000.
- [14] K. KRAPELS, R.G. DRIGGERS, D. DEEVER, S.K. MOYER, J. PALMER, *Midwave infrared and visible sensor performance modelling: small craft identification discrimination criteria for maritime security*, *Applied Optics*, 46, 30, 2007.
- [15] K. KRAPELS, R.G. DRIGGERS, P. LARSON, J. GARCIA, B. WALDEN, *Small craft ID Criteria (N_{50}/V_{50}) for Short Wave Infrared Sensor in Maritime Security*, *Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling and Testing XIX*, G.C. Holst, Editor, Proc. of SPIE, 6941, 2008.
- [16] K. KRAPELS, R.G. DRIGGERS, D. DEEVER, *Small Craft Identification Discrimination Criteria for maritime Anti-terrorism and Force Protection*, Report North Atlantic Treaty Organization 01.08.2006.
- [17] R.G. DRIGGERS, J.S. TAYLOR, JR., K. KRAPELS, *Probability of identification cycle criterion (N_{50}/N_{90}) for underwater mine target acquisition*, *Optical Engineering*, 46 (3), 2007.
- [18] S.K. MOYER, J.E. FLUG, T.C. EDWARDS, K.A. KRAPELS, J. SCARBROUGH, *Identification of handheld objects for electro-optic/FLIR applications*, *Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling and Testing XV*, G.C. Holst, Editor, Proc. of SPIE, 5407, 2004.
- [19] S.K. MOYER, J.G. HIXSON, *Probability of identification of small hand-held objects for electro-optic forward-looking infrared systems*, *Optical Engineering*, 45 (6), 2006.
- [20] R.H. VOLLMERHAUSEN, R.G. DRIGGERS, *Analysis of Sampled Imaging Systems*, SPIE Press, Bellingham, WA, 2000.
- [21] R.H. VOLLMERHAUSEN, D.A. REAGO, JR., R.G. DRIGGERS, *Analysis and Evaluation of Sampled Imaging Systems*, SPIE Press, Bellingham, WA, 2010.
- [22] D.E. SCHMIEDER, M. R. WEATHERSBY, *Detection Performance in Clutter with Variable Resolution*, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, AES-19(4), 1983.
- [23] B.P. TEANEY, J.P. REYNOLDS, J. O'CONNOR, *Guidance on methods and parameters for Army target acquisition models*, *Design, Analysis, Modeling and Testing XV*, G.C. Holst Editor, Proc. of SPIE, 6543, 2007.
- [24] B.P. TEANEY, *Weighted contrast metric for imaging system performance*, *Infrared Imaging Systems, Design, Analysis, Modeling and Testing XV*, G.C. Holst, K.A. Krapels Editor, Proc. of SPIE, 8355, 2012.
- [25] J.D. HOWE, *The Infrared and Electro-Optical System Handbook*, Environmental Research Institute of Michigan and The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 4, 1993, 61.
- [26] R.G. DRIGGERS, S.J. PRUCHNIK, JR., *Laboratory measurement of sampled infrared imaging system performance*, *Optical Engineering*, 38 (5), 1999, 853-861.
- [27] G.C. HOLST, *Testing and Evaluation of infrared Imaging Systems*, JCD Publishing Company, 1998.
- [28] K. CHRZANOWSKI, J. BARELA, K. FIRMANTY, *Testing of electro-optical imaging systems*, *Design, Analysis, Modeling and Testing XV*, G.C. Holst Editor, Proc. of SPIE, 5407 2004.
- [29] J. BARELA, M. KASTEK, K. FIRMANTY, P. TRZASKAWKA, R. DULSKI, *Determining detection, recognition and identification ranges of thermal cameras on the basis of laboratory measurements and TTP model*, Proc. SPIE, 8355, 2012.
- [30] www.ci-system.com
- [31] www.sbir.com
- [32] www.hgh.fr

-
- [33] *Modular Electro-optical Test System (METS-L)*, Operation Manual, 2007.
- [34] *Night Vision Thermal and Image Processing Performance Model*, User's Manual, 2009.
- [35] www.mathworks.com
- [36] S.W. SMITH, *Digital Signal Processing. A Practical Guide for Engineers and Scientists* by Steven, BTC Publishing Company, 2003.
- [37] R.G. LYONS, *Understanding Digital Signal Processing*, WKL Publishing Company, 2006.
- [38] P.A. JANSSON, *Deconvolution of spectra and images*, Academic Press Inc., New York, 1997.
- [39] J.D. RATCHES, *Static Performance Model for Thermal Imaging Systems*, Optical Engineering, 15(6), 1976.

J. BAREŁA, M. KASTEK, K. FIRMANTY

Determination of range parameters of observation devices used in security systems

Abstract. Range parameters of observation devices can be determined on the basis of numerical simulations or on the basis of measured characteristics. Those measurements can be conducted in both, laboratory and field conditions. It is, however, difficult to carry on reliable field measurements of range parameters because they are strongly depended on atmospheric conditions. Thus, the laboratory measurements are more favourable option. The paper describes the measurement stand, measurement methodology and the procedure for determination of range parameters. The results for thermal and VIS cameras are also presented, and they are analyzed and compared with the results obtained from current methods, including the measurement uncertainty figures. Some suggestions on the methodology of measurements are also given.

Keywords: thermal cameras, measure parameters of IR systems, Johnson criterion, TTP model

