



Wyznaczanie parametrów zasięgowych urządzeń obserwacyjnych na podstawie pomiarów laboratoryjnych

Jarosław BAREŁA^{*}, Mariusz KASTEK, Krzysztof FIRMAN TY

*Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna,
ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
^{*} autor korespondencyjny, e-mail: jbarela@wat.edu.pl*

Artykuł wpłynął do redakcji 15.05.2012. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 28.03.2014

Streszczenie. W artykule przedstawiono dwie najbardziej wiarygodne metody wyznaczania parametrów zasięgowych urządzeń obserwacyjnych – kryterium Johnsona i model TTP. Kryterium Johnsona jest metodą wykorzystywaną w normach NATO do wyznaczania prawdopodobieństwa detekcji, rozpoznania i identyfikacji standardowych celi NATO. Model TTP jest najnowszym sposobem wyznaczania parametrów zasięgowych urządzeń obserwacyjnych wykorzystywanym i rozwijanym głównie przez wojskowe badawcze laboratoria amerykańskie. W artykule przedstawiono uproszczony opis metody wyznaczenia parametrów zasięgowych na podstawie pomiarów laboratoryjnych. Opisano metodykę pomiaru niezbędnych parametrów potrzebnych do wyznaczenia zasięgu detekcji, rozpoznania i identyfikacji zgodnie z kryterium Johnsona oraz modelem TTP. Przedstawiono przykładowe wyniki pomiaru zasięgów kamer termowizyjnych oraz krótką analizę modeli.

Słowa kluczowe: metrologia optoelektroniczna, kryterium Johnsona, model TTP

1. WSTĘP

Systemy obserwacyjne są istotnym elementem wyposażenia sprzętu wojskowego. Żołnierz XXI wieku wyposażony jest w celownik termowizyjny lub noktowizyjny. System obserwacyjny wozu bojowego, czy też samolotu, wyposażony jest najczęściej w dwie kamery termowizyjne i dzienne w systemie kierowania ogniem, boczne kamery obserwacyjne (dwie albo cztery) oraz dodatkowo pociski przeciwpancerne posiadające własne kamery, z których obsługa wozu może korzystać. Systemy obserwacyjne stanowią więc istotny składnik kosztu zakupu nowoczesnego sprzętu wojskowego. We współczesnych systemach obserwacyjnych wykorzystuje się: kamery termowizyjne, kamery z zakresu promieniowania widzialnego, przyrządy noktowizyjne i przyrządy niskiego poziomu oświetlenia.

Parametry systemów obserwacyjnych można określać na podstawie: symulacji komputerowych, badań poligonowych oraz pomiarów laboratoryjnych. W wielu państwach NATO obowiązuje zasada, że przed zakupem systemu obserwacyjnego parametry określa się na podstawie symulacji komputerowych (*NVTherm*). Po zakupie parametry są weryfikowane na podstawie badań poligonowych i pomiarów laboratoryjnych. Badania poligonowe mają najczęściej na celu sprawdzenie funkcjonalności całego systemu. Pomiar laboratoryjny sprawdza parametry poszczególnych elementów składowych systemu. Na ich podstawie określa się zasięgi obserwacji w różnych warunkach pogodowych oraz konfiguracji sprzętu.

2. METODY OKREŚLANIA PARAMETRÓW URZĄDZEŃ OBSERWACYJNYCH

Istnieje kilka metod określania parametrów zasięgu wykrycia, rozpoznania i identyfikacji celu urządzeń obserwacyjnych. Najstarszą i najbardziej rozpowszechnioną metodą jest kryterium Johnsona [1]. Najnowszą, najbardziej kompleksową i wiarygodną jest metoda TTP (ang. *Targeting Task Performance Metric*) [2].

Oryginalne kryterium Johnsona zostało opublikowane w 1958 roku. Podaje ono zależność między rozdzielczością przestrzenną obserwowanych czteropaskowych testów a zasięgami: detekcji, rozpoznania i identyfikacji celu. Innymi słowy, pozwala ono 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*), a dla urządzeń pracujących w zakresie promieniowania podczerwonego charakterystykę minimalnej rozróżnialnej różnicy temperatur *MRTD* (ang. *Minimum Resolvable Temperature Difference*).

Charakterystyki *MRC* oraz *MRTD* można wyznaczyć w sposób analityczny, mierząc funkcję przenoszenia modulacji *MTF* (ang. *Modulation Transfer Function*) oraz szumy systemu. Na podstawie zmierzonych charakterystyk możemy wyznaczyć parametry zasięgowe urządzeń obserwacyjnych dla różnych warunków atmosferycznych i różnych wymiarów przestrzennych celów. Kryterium Johnsona pozwala wyznaczyć parametry obserwacyjne urządzeń pracujących w zakresie widmowym promieniowania widzialnego i podczerwieni.

Kryterium Johnsona wprowadza pojęcie zasięgów wykrycia, rozpoznania i identyfikacji. Wykrycie celu z danej odległości oznacza stwierdzenie, że coś znajduje się w polu widzenia urządzenia obserwacyjnego. Rozpoznanie celu oznacza możliwość stwierdzenia, czy jest to czołg czy samochód. Identyfikacja celu pozwala na określenie np. typu czołgu. Zgodnie z oryginalnym kryterium Johnsona, aby wykryć cel, wymagana jest przestrzenna rozdzielczość celu 0,75 cykla, co oznacza, że powinien on mieć rozmiar na ekranie urządzenia co najmniej $1,5 \times 1,5$ piksela. Dla rozpoznania wymagana liczba pikseli celu wynosi 6×6 , a dla identyfikacji 12×12 . Badania poligonowe pozwoliły na określenie wymaganej liczby par linii dla określonych grup celów.

Tabela 1. Wymagana liczba par linii potrzebna do detekcji, rozpoznania i identyfikacji wybranej grupy celów według zmodyfikowanego kryterium Johnsona

Table 1. Number of line pairs required for detection, recognition and identification for selected targets according to modified Johnson criteria

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	$1,00 \pm 0,25$	$4,00 \pm 0,35$	$6,40 \pm 1,50$

Pomiar charakterystyki *MRTD* oraz sposób wyznaczenia zasięgów urządzenia zostały określone normami NATO [3, 4]. 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 zostały opracowane [5, 6], ale nie zostały ratyfikowane.

Kryterium Johnsona było wielokrotnie modyfikowane i ma istotny wkład w rozwój metod określania parametrów urządzeń obserwacyjnych.

Wprowadzenie nowych kamer obserwacyjnych spowodowało, że parametry wyznaczone na podstawie kryterium Johnsona nowoczesnych urządzeń wykorzystujących metody obróbki obrazu są nie do końca wiarygodne. Dotyczy to głównie urządzeń posiadających cyfrowe moduły obróbki i fuzji obrazów. Kryterium Johnsona nie uwzględnia wpływu na wyznaczone zasięgi: szumów obrazu, elektronicznych układów podbijania wysokich częstotliwości (ang. *boost*), filtracji cyfrowej obrazu oraz interpolacji.

Model TTP opracowany został przez największy wojskowy amerykański instytut zajmujący się systemami obserwacyjnymi (*U.S. Army's Night Vision and Electronic Sensors Directorate*). Pierwsze publikacje na jego temat ukazały się w 2000 roku [7-11]. Obecnie jest on podstawowym sposobem pomiaru parametrów urządzeń obserwacyjnych armii USA. Prowadzone są badania mające na celu dokładne określenie wpływu poszczególnych parametrów badanego urządzenia na wyniki pomiarów parametrów zasięgowych urządzeń obserwacyjnych oraz wyznaczenie tzw. współczynnika trudności wykonania zadania V_{50} , dla poszczególnych grup celów. Prace mają się zakończyć opracowaniem nowych norm NATO.

Model TTP jest modelem kompleksowym opisującym proces obserwacji za pomocą urządzeń. Uwzględnia on trzy elementy procesu obserwacji:

- propagację promieniowania przez atmosferę,
- przetwarzanie obrazu przez urządzenie,
- zdolności obserwacyjne obserwatora (człowieka).

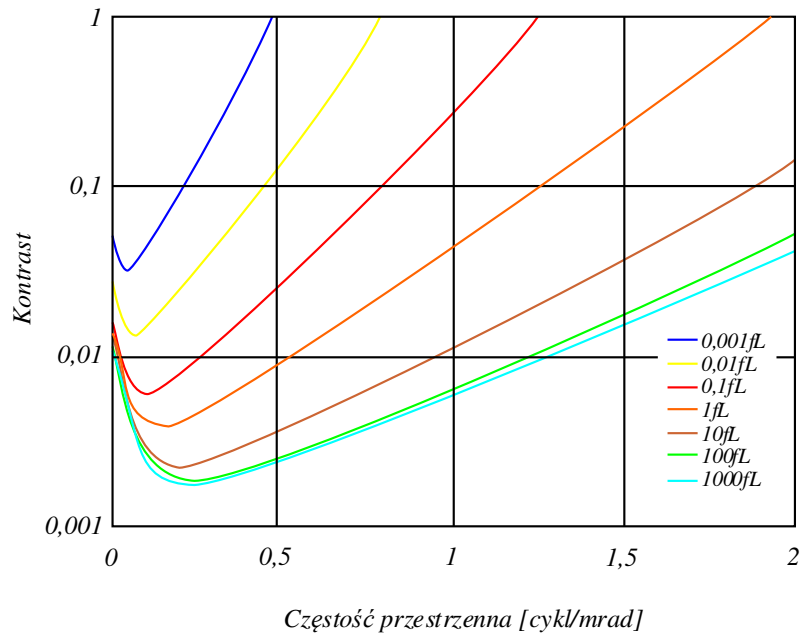
Model zakłada, że obserwator jest w stanie obserwować obiekt, jeżeli kontrast obiektu na ekranie urządzenia jest większy od zdolności obserwacyjnej oka ludzkiego. Model TTP pozwala wyznaczyć prawdopodobieństwo detekcji, rozpoznania i identyfikacji celu z zależności:

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

gdzie: $E = 1.51 + 0.24 \times N_{sampled}/V_{50}$,

V_{50} – współczynnik trudności wykonania zadania,

$N_{sampled}$ – ilość pikseli obrazu przypadających na cel na ekranie wyświetlacza.



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

Fig. 1. Minimum resolvable contrast as a function of spatial frequency of an observed object for different image luminance values

Współczynnik V_{50} jest wyznaczany doświadczalnie podczas badań poligonowych dla poszczególnych grup celi oraz zakresów widmowych obserwacji. Obecnie są dostępne wartości współczynnika V_{50} dla wozów bojowych (zamaskowanych i niezamaskowanych) oraz statków i min morskich [12-15]. Duży nacisk położony jest na określenie współczynnika V_{50} dla identyfikacji przedmiotów znajdujących się w dłoniach ludzi (pistolet, nóż, granat, telefon, kamień) [16, 17]. $N_{sampled}$ wyznaczamy na podstawie zależności:

$$N_{sampled} = N_{resolved} \cdot \sqrt{1 - 0.58 \cdot SRRH_{out}} \cdot \sqrt{1 - 0.58 \cdot SRRV_{out}} \quad (2)$$

gdzie: $N_{resolved}$ – ilość punktów obrazu przypadających na cel przed próbkowaniem,
 $SRRH_{out}$, $SRRV_{out}$ – funkcje opisujące wpływ procesu próbkowania na parametry zasięgowe urządzenia.

Parametr $N_{resolved}$ jest wyznaczany z zależności:

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

gdzie:

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

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

gdzie:

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

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

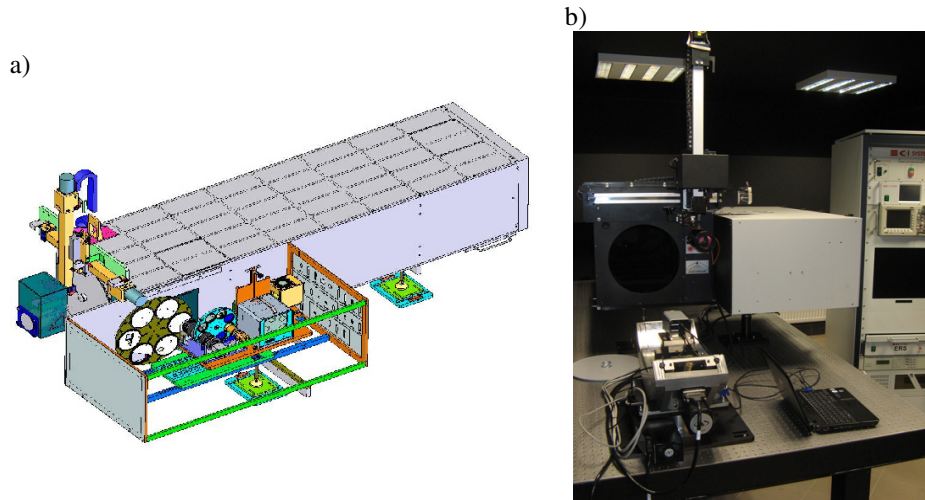
gdzie: T_{TGT} – kontrast termiczny celu względem otoczenia docierający do kamery termowizyjnej, A_{TGT} – powierzchnia czynna celu, η_{eye}, ξ_{eye} – częstość przestrzenna mierzona względem oka, α – stała kalibracyjna równa 169.6, σ – szumy przestrzenne zmierzone na wyświetlaczu, L – średnia wartość luminancji wyświetlacza.

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

Aby wyznaczyć parametry zasięgu wykrycia, rozpoznania i identyfikacji urządzeń obserwacyjnych zgodnie z normami NATO dla urządzeń termowizyjnych, należy wyznaczyć charakterystykę minimalnej rozróżniającej temperatury $MRTD$, a dla urządzeń pracujących w zakresie promieniowania widzialnego – charakterystykę minimalnego rozróżniającego kontrastu MRC .

Aby wyznaczyć parametry zasięgowie urządzeń obserwacyjnych zgodnie z modelem TTP, należy zmierzyć następujące parametry: pionową i poziomą charakterystykę *pre-sample MTF*, poziomą i pionową charakterystykę *MTF* systemu, wartość szumów przestrzennych systemu, funkcję przenoszenia sygnału *SiTF* (ang. *Signal Transfer Function*).



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

Fig. 2. Test stand for the measurements of parameters of observation thermal cameras: a) structure diagram, b) real photo

Pomiary parametrów urządzeń kamer termowizyjnych, przedstawione w artykule, wykonano w Instytucie Optoelektroniki WAT na stanowisku pomiarowym MST firmy CI SYSTEM [18]. Stanowisko to składa się z: kolimatora podczerwieni, 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 video i specjalistycznym oprogramowaniem (rys. 2). Stanowisko to umożliwia pomiar podstawowych parametrów obserwacyjnych urządzeń pracujących w zakresie promieniowania widzialnego i podczerwieni oraz dalmierzy laserowych.

4. POMIARY PARAMETRÓW URZĄDZEŃ OBSERWACYJNYCH

Pomiary parametrów wykonano dla dwóch obserwacyjnych niechłodzonych kamer termowizyjnych.

Kamera nr 1 jest typową kamerą obserwacyjną używaną w systemach ochrony obiektów. Jej producentem jest jeden z największych dostawców wieloczuJNIKOWYCH systemów ochrony. Elementem detekcyjnym jest matryca detektorów mikrobolometrycznych o wymiarach 320×240 . Obraz wyświetlany jest na typowym wyświetlaczu LCD. Zgodnie z dokumentacją techniczną, umożliwia ona wykrycie człowieka z odległości 780 m, a samochodu z odległości 2,2 km.

Kamera nr 2 jest ręczną kamerą obserwacyjną wykorzystywaną przez patrolę piesze. Elementem detekcyjnym jest matryca detektorów mikrobolometrycznych o wymiarach 384×288 . Wyświetlaczem jest OLED o rozdzielczości 800×600 . Zgodnie z dokumentacją techniczną, umożliwia ona wykrycie człowieka z odległości 1 km, a samochodu z odległości 2,85 km.

Obie kamery są zbudowane na detektorach niechłodzonych bez systemów stabilizacji temperatury pracy matrycy. Posiadają one powiększenie elektroniczne $\times 2$. Podstawowe parametry kamer zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Podstawowe parametry badanych obserwacyjnych kamer termowizyjnych

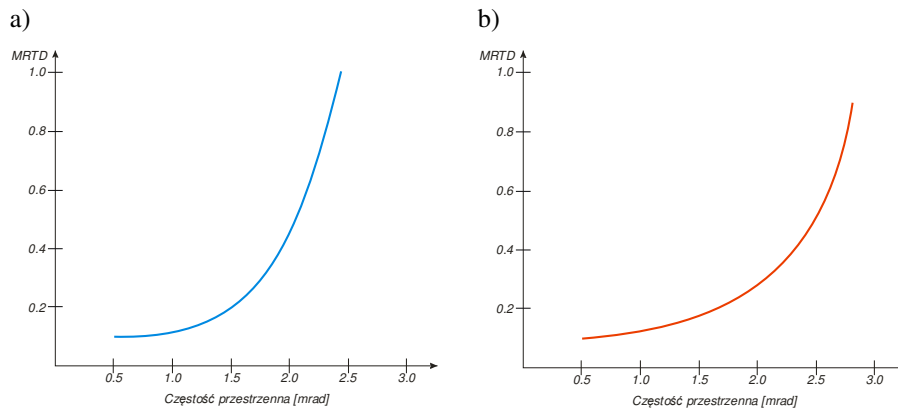
Table 2. Specifications of tested IR cameras

Parametry	Kamera nr 1	Kamera nr 2
Typ czujnika	Niechłodzony Vox mikrobolometr	Niechłodzony mikrobolometr
Zakres widmowy	$7,5 \div 13 \mu\text{m}$	$7,5 \div 13 \mu\text{m}$
Wymiar matrycy	320×240	384×288
Wymiar detektora matrycy	$38 \mu\text{m}$	$25 \mu\text{m}$
Pole widzenia	$14 \times 10,5^\circ$	$8 \times 6^\circ$
Typ wyświetlacza	Binocular	Monocular

Pomiary charakterystyki *MRTD* wykonane zostały zgodnie z normami NATO, tzn. przez trzech doświadczonych obserwatorów bez wad wzroku zgodnie z procedurą pomiarową „Pomiary parametrów urządzeń termowizyjnych” akredytowanego Laboratorium Badawczego Instytutu Optoelektroniki WAT. Uzyskane wyniki zmierzonych charakterystyk *MRTD* przedstawiono na rysunku 3.

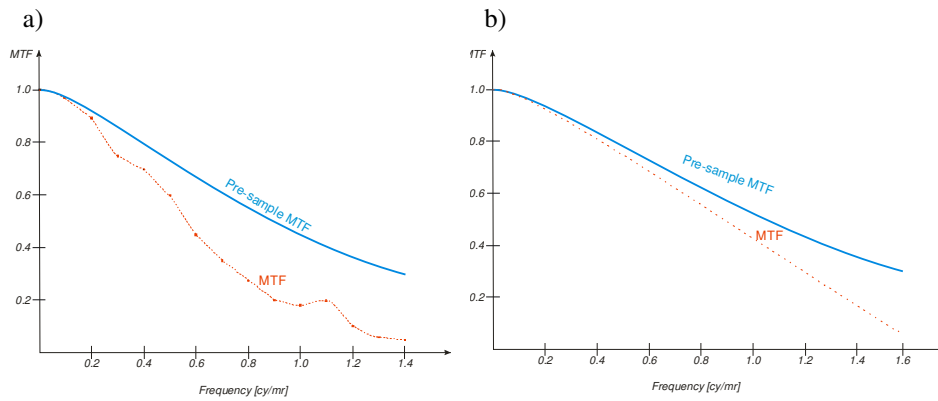
W celu wyznaczenia parametrów zasięgu wykrycia, rozpoznania i identyfikacji kamer termowizyjnych według modelu *TTP* wykonano pomiary następujących parametrów: *MTF*, *pre-sample MTF*, *SiTF* oraz szumów *3D*. Wyniki pomiarów *MTF* i *pre-sample MTF* przedstawiono na rysunku 4.

Wartość szumów systemu *Sigma TVH* wyznaczona na podstawie modelu 3D dla kamery nr 1 wynosi 0,132 mV, a dla kamery nr 2 – 0,244 mV. Wartość SCN_{TMP} obliczona na podstawie funkcji przenoszenia sygnału *SiTF* dla kamery nr 1 wynosi 0,214, a dla kamery nr 2 – 0,187.



Rys. 3. Funkcja *MRTD* kamery nr 1 (a), funkcja *MRTD* kamery nr 2 (b)

Fig. 3. Measured characteristics MRTD of IR1 camera (a) and IR2 camera (b)



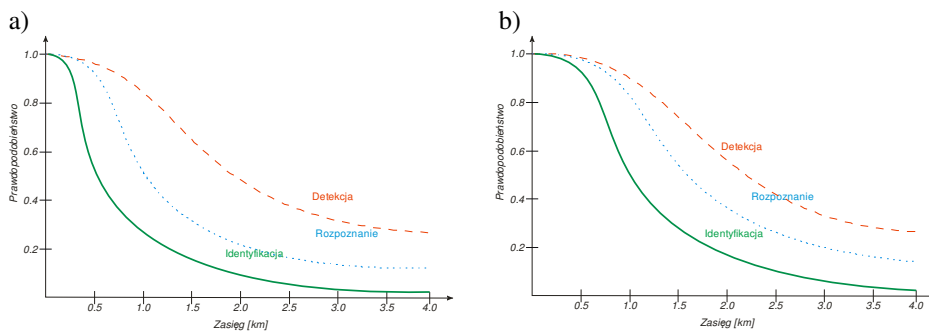
Rys. 4. Funkcja MTF oraz *pre-sample MTF* kamery nr 1 (a), funkcja MTF oraz *pre-sample MTF* kamery nr 2 (b)

Fig. 4. Measured characteristics MTF and pre-sample MTF of IR1 camera (a) and IR2 camera (b)

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 $\Delta T = 2 \text{ K}$,
- temperatura otoczenia 288 K ,
- identyfikacja celu spośród 9 pojazdów ($V_{50} = 16,2$).

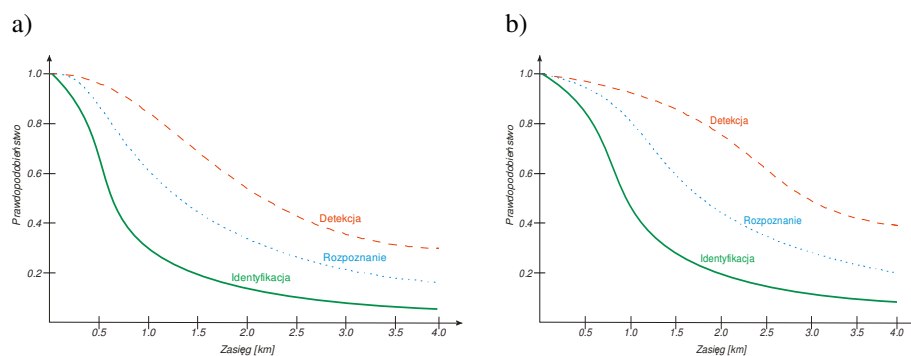
Obliczenia zasięgów wykonano w programie Matlab [19], korzystając z dokumentacji modelu TTP oraz teorii filtracji liniowej [20-26], a wyniki przedstawiono na rysunkach 5 i 6. W tabeli 3 przedstawiono wyniki dla obu przedstawionych metod wyznaczenia zasięgów z prawdopodobieństwem 50% i 95%.



Rys. 5. Prawdopodobieństwo detekcji, rozpoznania i identyfikacji standardowego celu NATO wyznaczone zgodnie z STANAG 4347: kamera nr 1 (a), kamera nr 2 (b)

Fig. 5. Probability of detection, recognition and identification of a standard NATO target calculated for IR1 camera (a) and IR2 camera (b), using: Johnson criteria

Zasięgi detekcji, rozpoznania i identyfikacji, zgodnie z normami NATO, wyznacza się z prawdopodobieństwem 50%. Aby wyznaczyć zasięgi z innym prawdopodobieństwem detekcji, należy skorzystać z tabel przeliczeniowych [27].



Rys. 6. Prawdopodobieństwo detekcji, rozpoznania i identyfikacji standardowego celu NATO wyznaczone zgodnie z modelem TTP: kamera nr 1 (a), kamera nr 2 (b)

Fig. 6. Probability of detection, recognition and identification of a standard NATO target calculated for IR1 camera (a), and IR2 camera (b), using: TTP model

Tabela 3. Porównanie zasięgów detekcji, rozpoznania i identyfikacji standardowego celu NATO wyznaczonych na podstawie STANAG 4347 oraz modelu TTP

Table 3. Detection, recognition and identification ranges for a standard NATO target calculated according to STANAG 4347 and TTP model

Sposób wyznaczenia	Nr kamery	Zasięg detekcji [m]		Zasięg rozpoznania [m]		Zasięg identyfikacji [m]	
		Prob. 50%	Prob. 95%	Prob. 50%	Prob. 95%	Prob. 50%	Prob. 95%
Kryterium Johnsona	1	1900	850	1100	550	500	250
	2	2700	1350	1600	800	1000	500
Model TTP	1	2300	700	1250	450	550	250
	2	3050	850	1750	600	850	400

5. WNIOSKI

Kryterium Johnsona pozwala na wyznaczenie parametrów zasięgowych urządzeń obserwacyjnych na podstawie zmierzonej charakterystyki *MRTD* lub *MRC*. Pomiar tych charakterystyk są pomiarami subiektywnymi. Wyniki w dużej mierze zależą od wyszkolenia obserwatora. Według danych literaturowych względna niepewność standardowa pomiaru charakterystyk pojedynczego punktu pomiarowego wynosi 25% [20].

Pomiar jest czasochłonny i wymaga bardzo dobrej znajomości procedur pomiarowych oraz obsługi kamery. Aby zmierzyć charakterystykę *MRTD* dobrej kamery termowizyjnej, trzeba poświęcić nawet 6 godzin.

Model TTP pozwala 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 jest szybki, może być przeprowadzony przez jedną osobę. Pomiar może być zautomatyzowany. Niepewność standardowa pomiaru poszczególnych parametrów zależy od dokładności urządzeń pomiarowych i nie przekracza 2%. Pozwala dokonać analizy wpływu parametrów urządzeń obserwacyjnych (szumów przestrzennych wyświetlacza, luminancji wyświetlacza, powiększenia optycznego, sposobu maskowania celu) na parametry zasięgowe systemu.

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 poligonowych.

Model TTP jest najbardziej kompleksowym istniejącym modelem pomiaru parametrów zasięgowych urządzeń obserwacyjnych. Uwzględnia wpływ wszystkich zjawisk wpływających na zasięgi wykrycia celu przez obserwatora. Wykorzystuje dostępną wiedzę na temat propagacji sygnału w urządzeniu obserwacyjnym począwszy od układu optycznego, a skończywszy na wyświetlaczu.

Model TTP uwzględnia nowe aspekty zastosowania urządzeń obserwacyjnych. Obecnie identyfikacja nie ogranicza się tylko do typu pojazdu zbliżającego się do nas. Wymagana jest identyfikacja przedmiotów znajdujących się w dłoniach ludzi.

Braki modelu TTP wynikają głównie z tego, że jest on mało rozpowszechniony, a wśród producentów kamer termowizyjnych wręcz nieznan. Obecnie wykorzystywany jest tylko przez armię USA. Większość producentów nadal podaje parametry zasięgowe, korzystając z kryterium Johnsona. Brakuje dogłębnej analizy wpływu poszczególnych parametrów systemu obserwacyjnego oraz normy opisującej proces pomiaru i wyznaczanie parametrów zasięgowych na podstawie zmierzonych parametrów.

W opinii autorów wyniki uzyskane 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] Johnson J., Analysis of imaging forming systems, *Proceedings of the Image Intensifier Symposium*, U.S. Army Engineer Research and Development Lab, Ford Belvoir, VA, pp. 249-273, 1958.
- [2] Vollmerhausen R.H., Reago D.A., Jr., Driggers R.G., New model for predicting target acquisition performance, *Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling and Testing XIX*, G.C. Holst, Editor, Proc. of SPIE, Vol. 5076, 2003.
- [3] STANAG 4347, *Definition of nominal static ranger performance for thermal imaging systems*, 1995.
- [4] STANAG 4349, *Measurement of the minimum resolvable temperature difference (MRTD) of thermal cameras*, 1995.
- [5] STANAG 4348, *Definition of nominal static performance for image intensifier systems*.
- [6] STANAG 4351, *Measurement of the minimum resolvable contrast (MRC) of image intensifier systems*.
- [7] Vollmerhausen R.H., Driggers R.G., Tomkinson M., Improved image quality metric for predicting tactical vehicle identification, *Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling and Testing XIX*, G.C. Holst, Editor, Proc. of SPIE, Vol. 5076, 2003.
- [8] Driggers R.G., Vollmerhausen R.H., Krapels K.A., Target identification performance as a function of low spatial frequency image content, *Optical Engineering*, 39(09), 2000.
- [9] Vollmerhausen R.H., Reago D.A., Jr., Driggers R.G., *Analysis and Evaluation of Sampled Imaging Systems*, SPIE Press, Bellingham, WA, 2010.
- [10] Vollmerhausen R.H., Driggers R.G., *Analysis of Sampled Imaging Systems*, SPIE Press, Bellingham, WA, 2000.
- [11] Vollmerhausen R.H., Jacobs E., *The Targeting Task Performance (TTP) Metric. A New Model for Predicting Target Acquisition Performance*, Technical report AMSEL-NV-TR-230, 2004.
- [12] Krapels K., Driggers R.G., Deaver D., Moyer S.K., Palmer J., Midwave infrared and visible sensor performance modelling: small craft identification discrimination criteria for maritime security, *Applied Optics*, Vol. 46, Issue 30, 2007.
- [13] Krapels K., Driggers R.G., Larson P., Garcia J., Walden B., 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, Vol. 6941, 2008.
- [14] Krapels K., Driggers R.G., Deaver D., *Small Craft Identification Discrimination Criteria for Maritime Anti-terrorism and Force Protection*, Report North Atlantic Treaty Organization, 01.08.2006.

-
- [15] Driggers R.G., Taylor J.S. Jr., Krapels K., Probability of identification cycle criterion (N_{50}/N_{90}) for underwater mine target acquisition, *Optical Engineering*, 46 (3), 2007.
- [16] Moyer S.K., Flug J.E., Edwards T.C., Krapels K.A., Scarbrough J., Identification of handheld objects for electro-optic/FLIR applications, *Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling and Testing XIX*, G.C. Holst, Editor, Proc. of SPIE, Vol. 5407, 2004.
- [17] Moyer S.K., Hixson J.G., Probability of identification of small hand-held objects for electro-optic forward-looking infrared systems, *Optical Engineering*, 45 (6), 2006.
- [18] *Modular Electro-optical Test System (METS-L), Operation Manual*, 2007.
- [19] www.mathworks.com
- [20] Holst G.C., *Testing and Evaluation of Infrared Imaging Systems*, JCD Publishing Company, 1998.
- [21] Vollmerhausen R.H., Driggers R.G., *Analysis of Sampled Imaging Systems*, SPIE Press, Bellingham, WA, 2000.
- [22] Vollmerhausen R.H., Reago D.A., Jr., Driggers R.G., *Analysis and Evaluation of Sampled Imaging Systems*, SPIE Press, Bellingham, WA, 2010.
- [23] Schmieder D.E., Weathersby M.R., Detection Performance in Clutter with Variable Resolution, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. AES-19(4), 1983.
- [24] Bareła J., Firmanty K., Kastek M., Wyznaczenie parametrów zasięgowych urządzeń obserwacyjnych na podstawie pomiarów laboratoryjnych, *Proceedings of IX International Armament Conference on Scientific Aspects of Armament and Safety Technology*, Pułtusk, Poland, 2012.
- [25] Bareła J., Kastek M., Firmanty K., Dulski R., Trzaskawka P., Kucharz J., Determination of range parameters of observation devices, *Proc. SPIE* 8541, 85411D, 2012.
- [26] Bareła J., Kastek M., Firmanty K., Dulski R., Trzaskawka P., Determining detection, recognition, and identification ranges of thermal cameras on the basis of laboratory measurements and TTP model, *Proc. SPIE* 8355, 83551E, 2012.
- [27] Ratches J.D., Static Performance Model for Thermal Imaging Systems, *Optical Engineering*, Vol. 15(6), 1976.

Determination of Range Parameters of Observation Devices on the Basis of Laboratory Measurements

Jarosław BAREŁA, Mariusz KASTEK, Krzysztof FIRMANTY

Abstract. The paper presents two most reliable methods used to determine the range performance of observation devices – Johnson criteria and the TTP model. Johnson criteria is used in NATO standards to determine the probability of detection, recognition and identification of standard NATO targets. TTP model is the latest concept to estimate the range parameters of observation devices, developed and used mainly by US military laboratories. The paper presents simplified description of a method applied to determine the range parameters on the basis of laboratory measurements. It provides the list of parameters and measurement methods required to estimate the detection, recognition and identification ranges according to both Johnson criteria and TTP model. Sample results obtained for thermal cameras and short model analysis are also presented.

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

