

Marek PISZCZEK, Krzysztof RUTYNA

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI, UL. KALISKIEGO 2, 00-908 WARSZAWA
WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI, UL. KALISKIEGO 2, 00-908 WARSZAWA

Rejestracja obrazów metodą kadrowania czasoprzestrzennego

Dr inż. Marek PISZCZEK

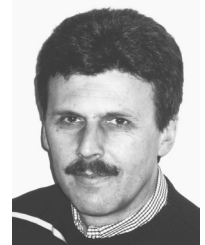
Jest absolwentem Wojskowej Akademii Technicznej (w 1995 ukończył studia na Wydziale Elektroniki) Od 2003 jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Instytutu Optoelektroniki WAT. Jego zainteresowania naukowe obejmują między innymi problemy z zakresu inżynierii informacji obrazowej. Do ważniejszych zagadnień, którymi się zajmuje należą opracowania dotyczące adaptacji techniki obrazowej do celów pomiarowych



e-mail: mpiszczek@wat.edu.pl

Dr inż. Krzysztof RUTYNA

Ukończył studia na Wydziale Elektroniki w 1984 r. Jest pracownikiem naukowym Instytutu Optoelektroniki WAT. Jego zainteresowania zawodowe koncentrują się wokół zagadnień z zakresu diagnostyki bardzo szybkich procesów w warunkach silnych obciążeń dynamicznych.



e-mail: krutyna@wat.edu.pl

Streszczenie

W opracowaniu zawarto podstawowe informacje dotyczące nowatorskiej metody rejestracji obrazów z wykorzystaniem aktywnego podświetlenia. Dokonano porównania proponowanego rozwiązania z klasyczną metodą rejestracji obrazów. Przedstawiono graficzny sposób realizacji kadrowania czasoprzestrzennego. Podane zostały podstawowe dane opracowanego stanowiska laboratoryjnego dokonującego akwizycji obrazów wg zaproponowanej metody. Zaprezentowane zostały również rezultaty przeprowadzonych testów laboratoryjnych i terenowych. Uzyskane wyniki wskazują na potencjalnie duże możliwości pomiarowe i aplikacyjne metody kadrowania czasoprzestrzennego.

Słowa kluczowe: szybka fotografia, podświetlanie laserowe, fotografia laserowa,

Recording of images with method of space-time photo-frame

Abstract

The paper contains basic information referring to the innovative method for the recording images using active illumination. They compare proposed solution registration of images with the classic method. A graphic way was presented to the realization of space-time photo-frame. Basic data of the laboratory set up for suggested method of images acquisition was showed. Results of carried laboratory and field tests were also presented. Received results point out potentially great measuring possibilities and appliqué methods of space-time photo-frame.

Keywords: high speed photography, laser illumination technology, laser imaging sequence of events

1. Wprowadzenie

Zapotrzebowanie środowiska naukowego jak i rynku komercyjnego na technologie informacyjne przyczynia się do rozwoju m.in. nowych technik pomiarowych. Niniejsze opracowanie dotyczy właśnie optoelektronicznej metody rejestracji obrazów z wykorzystaniem aktywnego podświetlenia. W wielu metodach techniki obrazowej stosowanych obecnie tzw. parametry charakterystyczne decydują o możliwościach pomiarowych i potencjalnym przeznaczeniu. W proponowanym rozwiązaniu tymi parametrami są: sposób oświetlenia (krótko-czasowe impulsy laserowe $t_0 \sim 10^{-8}$ s) oraz stosowana metoda detekcji (szybka migawka $t_D \sim 10^{-8}$ s). Kluczową rolę w wyjaśnieniu ogólnej idei funkcjonowania metody odgrywa prędkość propagacji fali E-M w przestrzeni pomiarowej, a dokładniej stałość i znajomość jej wartości $c \sim 3 \cdot 10^8$ m/s.

Choć w powszechnym ujęciu ma ona dla nas wartość astronomiczną, to jednak rachunek $R=c \cdot t$ wiążący w/w wielkość fizyczną z geometrią R „obserwowanej scenarii” i odpowiednimi czasami propagacji impulsu świetlnego t w takiej przestrzeni jednoznacznie wskazuje (a potwierdzają to dodatkowo dane eksperymentalne), że efekty przewidziane w teoretycznym modelu metody można dostrzec w warunkach laboratoryjnych. Owym podstawowym efektem jest możliwość rejestracji kamerą informacji obrazowej ze ściśle określonego fragmentu przestrzeni i w ściśle określonym przedziale czasowym, co legło u podstaw nazewnictwa metody jako „kadrowanie czasoprzestrzenne - metoda T-R” [1].

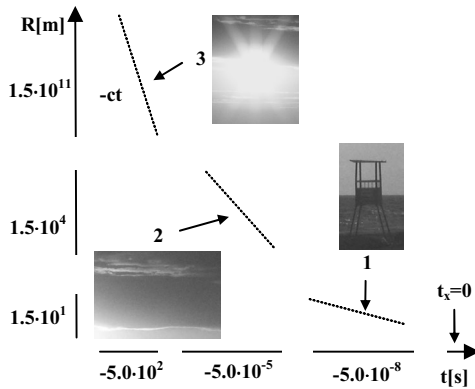
2. Charakterystyka metody

Obrazem może być każdy dwuwymiarowy rozkład dowolnego parametru. Najczęściej przyjmujemy, że jest nim natężenie fali elektromagnetycznej z zakresu widmowego odpowiedniego dla naszych możliwości percepcyjnych ($\lambda \sim 400-600$ nm). Informacja zawarta w takim zobrazowaniu jest sposobem uchwycenia fragmentu przestrzeni R^3 w określonym przedziale czasu Δt . Tradycyjne metody fotograficzne bardzo „ogólnie” traktują kwestię czasu i przestrzeni obrazowania, skupiając główną uwagę na możliwości akwizycji i analizy scenarii będącej wynikiem rzutowania przestrzeni R^3 (ograniczonej kątowym polem widzenia optyki) na płaszczyznę obrazową rejestratora optycznego (matryca detekcyjna).

Na podstawie analizy rysunków 1 i 2 widać, że zarejestrowane obiekty (1,2,3) pochodzą z bardzo szerokiego „kadru czasoprzestrzennego” tzn. ich rozpiętość przestrzenna i czasowa (np. obserwator – słońce) jest bardzo duża i wynosi odpowiednio $\Delta R \sim 1.5 \cdot 10^{13}$ m, $\Delta t \sim 5.0 \cdot 10^2$ s.

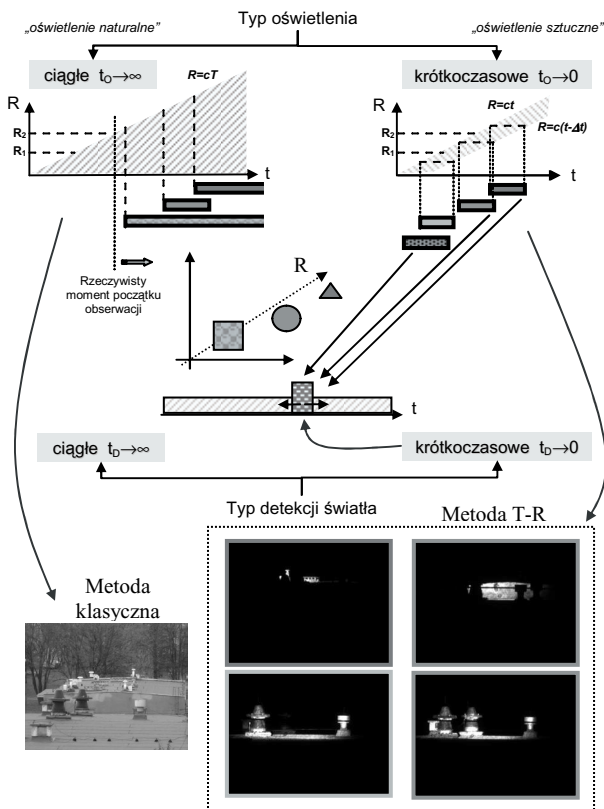


Rys. 1. Zdjęcie klasycznej fotografii (wschód słońca w Kątach Rybackich)
Fig. 1. Classical photograph (sunrise in Kąty Rybackie)



Rys. 2. Horyzont czasoprzestrzenny rejestrowany metodą klasyczną
Fig. 2. Space-time horizon registered with the classical method.

Czy istnieje więc możliwość zawężenia horyzontu czasowego i przestrzennego? Proponowane rozwiązanie umożliwia realizację tego zadania przy zastosowaniu istniejących współcześnie technologii optoelektronicznych [2][3][4]. Chcąc porównać proponowaną metodę kadrowania czasoprzestrzennego (zawężania horyzontu czasoprzestrzennego) z „klasycznymi” sposobami obrazowania należy szczegółowiej rozpatrzyć kwestie czasowe dotyczące typu oświetlenia i rodzaju detekcji stosowanych w systemach akwizycji obrazów (rys. 3).



Rys. 3. Wpływ oświetlenia i czasu detekcji na rejestrowany obraz
Fig. 3. Influence of the illumination and the time of the detection for the registered image

Metoda kadrowania czasoprzestrzennego (warunki pracy: $t_0 \rightarrow 0$, $t_D \rightarrow 0$) wykorzystuje odpowiednie sekwencje czasowe do sterowania poszczególnymi blokami systemu pomiarowego (rys. 5), a możliwy do akwizycji horyzont czasoprzestrzenny opisuje diagram czasowy (rys. 4). Wielkości t_0 , t_M , t_D opisują odpowiednio czas oświetlenia, czas wyczekiwania oraz czas detekcji. Na podstawie znajomości wartości w/w wielkości można określić podstawowe parametry czasowe istotne z użytkowego punktu widzenia.

a) Przedział czasowy rejestrowanych zdarzeń

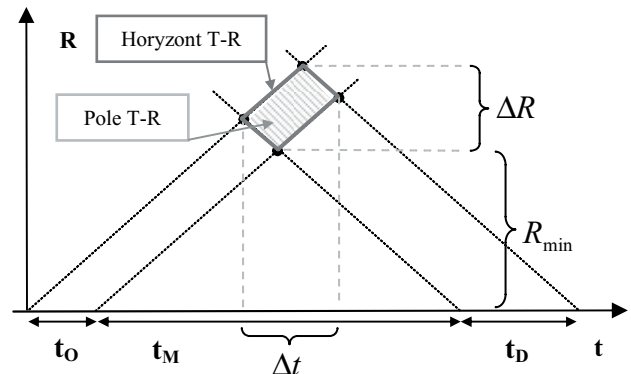
$$\Delta t = 0.5(t_D + t_0) \quad (1)$$

b) Odległość do pola obserwacji

$$R_{\min} = 0.5ct_M \quad (2)$$

c) Głębokość pola obserwacji

$$\Delta R = 0.5c(t_0 + t_D) \quad (3)$$



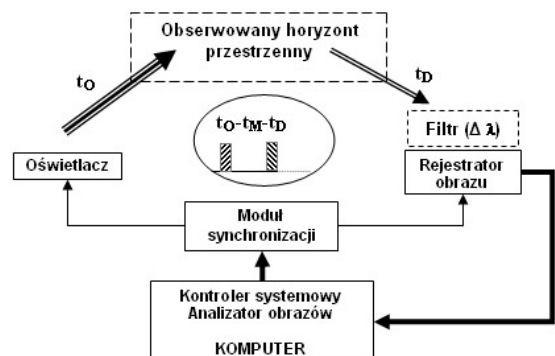
Rys. 4. Diagram „metody T-R”
Fig. 4. Diagram "methods of space-time S-T photo-frame"

Oprócz parametrów czasowych metody (decydujących o selekcji czasoprzestrzennnej) równie istotną rolę odgrywają parametry energetyczne decydujące o jakości uzyskiwanych obrazów. Ogólnie przyjmujemy, że mamy do czynienia tylko z impulsowym podświetlaniem laserowym I_B . Jednak w rzeczywistych warunkach pomiarowych występuje też oświetlenie naturalne I_A , które z punktu widzenia metody jest czynnikiem zakłócającym. Minimalizację w/w zakłócenia uzyskujemy poprzez stosowanie filtracji widmowej $\Delta\lambda$. W efekcie do rejestrowanego obrazu docierają składowe oświetlenia opisane zależnością (4), z których dominująca rolę w procesie powstawania obrazu odgrywa składowa I_B , która jest dopasowana do filtracji $\Delta\lambda$.

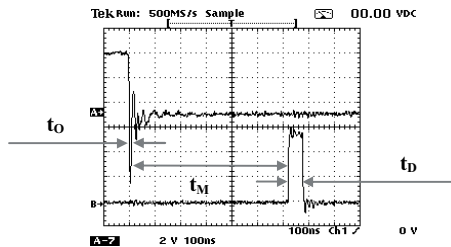
$$I \propto \int_0^\infty \int_{\Delta\lambda} I_A(R, \lambda) dR d\lambda + \int_{\Delta\lambda} I_B(R, \lambda) dR d\lambda \quad (4)$$

3. Stanowisko pomiarowe

Schemat blokowy stanowiska pomiarowego wraz z przykładowymi przebiegami czasowymi przedstawiają rys. 5 i 6.



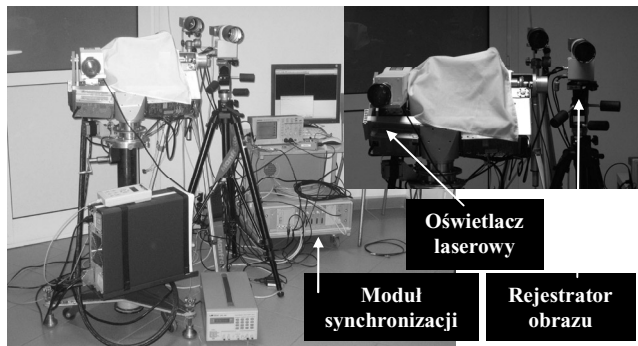
Rys. 5. Schemat funkcjonalny stanowiska do obserwacji metodą T-R
Fig. 5. Functional scheme of stand to observation with S-T method



Rys. 6. Przebiegi czasowe; laserowego oświetlacza i rejestratora w metodzie T-R
Fig. 6. Temporal courses; laser illuminator and camera in the S-T method

Tab. 1. Wybrane parametry modułów stanowiska pomiarowego
Tab. 1. Chosen parameters of modules of the measuring stand

Oświetlacz laserowy	Laser NdYAG, Energia 10 mJ, $\lambda = 530\text{nm}$ (druga harmon.), czas oświetlania $t_0 = (10-20)\text{ns}$
Rejestrator obrazu	Kamera HSC-145BW, wzmacniacz obrazu MCP czas detekcji $t_D = (10-70)\text{ns}$
Moduł synchronizacji	Sequencer sterujący sekwencjami czasowymi z krokiem $\Delta t_s = 5\text{ns}$



Rys. 7. Laboracyjny system pomiarowy
Fig. 7. Laboratory measuring system

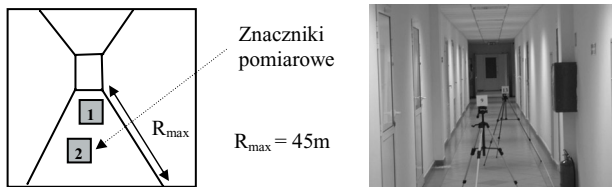
Stanowisko pomiarowe zostało opracowane we współpracy z firmą HARDsoft z Krakowa.

4. Wyniki pomiarów

Badania weryfikujące poprawność zaproponowanej metody pomiarowej zostały przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych (rys. 8) i terenowych (rys. 12).

4.1. Pomiary laboratoryjne

Celem pomiarów laboratoryjnych była weryfikacja diagramu metody T-R (wpływ parametrów t_0 , t_D na pole T-R).

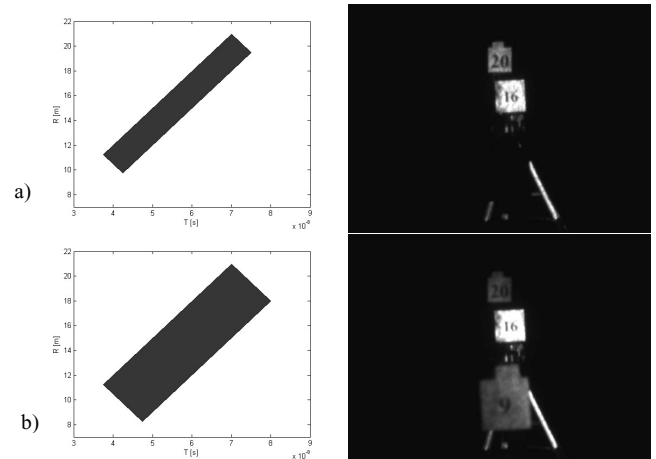


Rys. 8. Laboracyjna przestrzeń pomiarowa $R_{\text{max}} = 45\text{m}$
Fig. 8. Laboratory measuring R_{max} space = 45m

Wpływ czasu oświetlania t_0 na rejestrowane obrazy

Tab. 2. Parametry rejestracji obrazów - test czasu oświetlania
Tab. 2. Parameters of the recording of images – test the time of illumination

Kadr	t_0 [ns]	t_M [ns]	t_D [ns]	R_{min} [m]	ΔR [m]
a)	10	65	65	9,7	11,2
b)	20	55	65	8.2	12.7

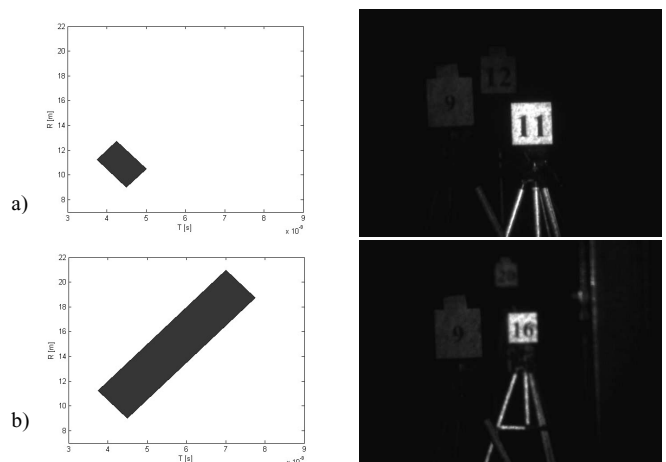


Rys. 9. Wyniki testowania wpływu czasu oświetlania a) $t_0=10\text{ns}$, b) $t_0=20\text{ns}$
Fig. 9. Results of testing influence the time of illumination a) $t_0=10\text{ns}$, b) $t_0=20\text{ns}$

Wpływ czasu detekcji t_D na rejestrowane obrazy

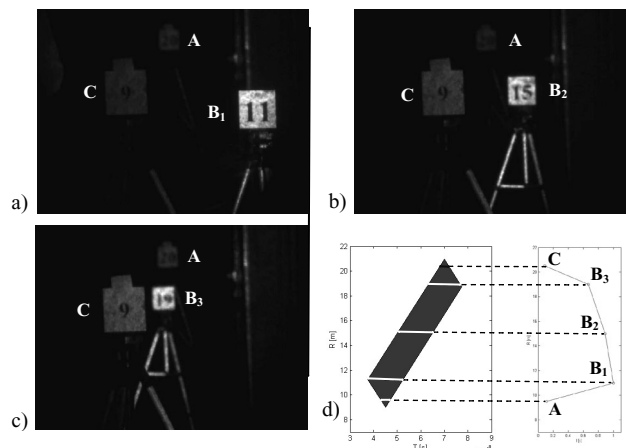
Tab. 3. Parametry rejestracji obrazów - test czasu detekcji
Tab. 3. Parameters of the recording of images - test the time of the detection

Kadr	t_0 [ns]	t_M [ns]	t_D [ns]	R_{min} [m]	ΔR [m]
a)	15	75	10	9	3,7
b)	15	75	65	9	12



Rys. 10. Wyniki testowania wpływu czasu detekcji a) $t_D=10\text{ns}$, b) $t_D=65\text{ns}$
Fig. 10. Results of testing the influence of the time detection a) $t_D=10\text{ns}$, b) $t_D=65\text{ns}$

Analiza widoczności (jasności) obiektów w polu kadru T-R



Rys. 11. Rozkład widoczności obiektów w polu T-R
Fig. 11. Resolution of the visibility of objects in S-T field

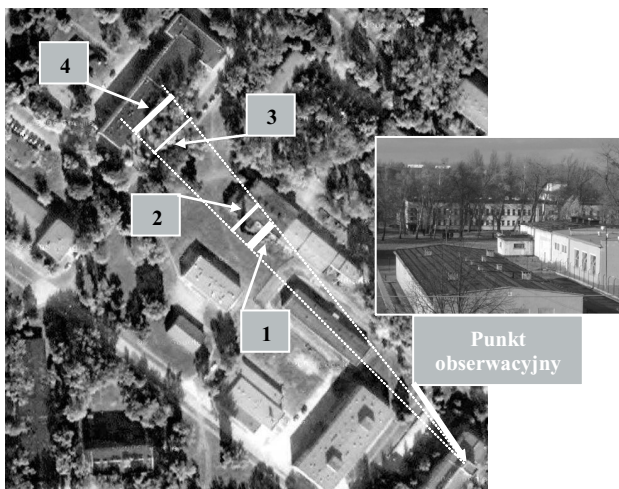
4.2. Pomiary terenowe

Testy zostały przeprowadzone dla różnych odległości R_{\min} i różnych głębokości ΔR pola obserwacji (tab. 4).

Tab. 4. Warunki pomiarowe testów terenowych
Tab. 4. Measuring conditions of field tests

Kadr	t_O [ns]	t_M [ns]	t_D [ns]	R_{\min} [m]	ΔR [m]
1	10	1090	50	163	9
2	10	1240	20	185	4.5
3	10	1590	10	238	3
4	10	1790	40	268	7.5

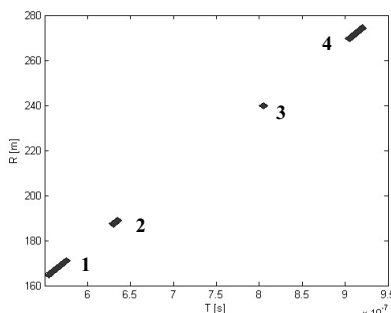
Fotomapę terenu z zaznaczonymi obszarami, które zostały zarejestrowane w kadrach (1-4) przedstawia rysunek 12.



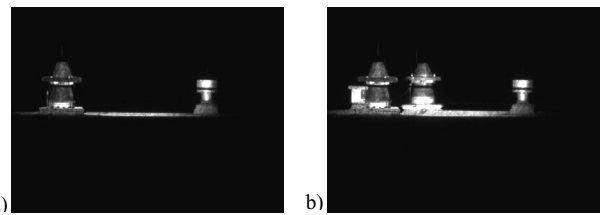
Rys. 12. Plan sytuacyjny pomiarów terenowych
Fig. 12. Site plan of field measurements



Rys. 13. Kadry przestrzeni uzyskane w testach terenowych
Fig. 13. Space-time photo-frame in field tests

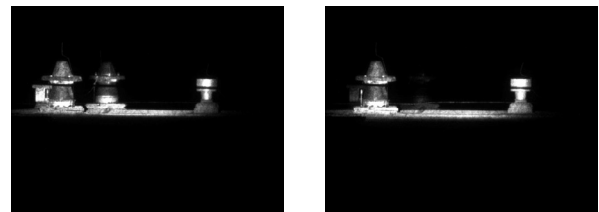


Niezwykle cenną własnością proponowanej metody jest możliwość bardzo selektywnego sterowania głębią pola obserwacji, która dodatkowo jest niezależna od odległości do kadrowanego obszaru. Możliwość sterowania głębi przestrzeni obserwacji poprzez zmiany czasu detekcji przedstawia rys. 14.



Rys. 14. Selektowność obserwacji a) $t_D=30\text{ns}$ b) $t_D=45\text{ns}$
Fig. 14. Selectivity of observation a) $t_D=30\text{ns}$ b) $t_D=45\text{ns}$

Bardzo istotną rzeczą przy określaniu odległości do kadrowanego obszaru R_{\min} oraz głębokości pola obserwacji ΔR jest stabilność czasowa pracy całego systemu pomiarowego, za co w głównej mierze odpowiada moduł synchronizacji. Fluktuacja parametrów akwizycji (t_O , t_M , t_D) może powodować obserwowalne na zarejestrowanych obrazach zmiany kadrowanego pola T-R.



Rys. 15. Wpływ fluktuacji parametrów akwizycji na kadrowane pole T-R
Fig. 15. Influence of the fluctuation of acquisition parameters on frame field S-T

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania opracowanego systemu akwizycji obrazów wykorzystującego aktywne podświetlenie, pozytywnie zweryfikowały główne założenia zaproponowanej metody pomiarowej. Testy laboratoryjne i terenowe potwierdziły możliwość sterowania kadrem czasoprzestrzennym do obserwacji dowolnie wybranego fragmentu przestrzeni R^3 . Dla wykonanego stanowiska pomiarowego minimalny krok kadrowanej przestrzeni wyniósł $R_{\Delta}=0.75\text{m}$ a minimalny obszar obserwacji $\Delta R_m=3\text{m}$. Analizy teoretyczne oraz wyniki eksperymentalne wskazują potencjalne obszary stosowności metody: a) selekcja przestrzenna elementów obserwowanej sceny, b) rejestracja i analiza zjawisk (procesów) szybkozmiennych c) wykrywanie i identyfikacja obiektów przy obserwacjach w niekorzystnych warunkach oświetlenia i/lub widoczności. Należy sądzić iż aplikacje oparte na proponowanej metodzie stać się mogą cennym narzędziem pomiarowym.

6. Literatura

- [1] M. Piszczek, K. Rutyna, M. Szustakowski, Koncepcja systemu fotografii laserowej do identyfikacji obiektów w warunkach słabego oświetlenia, IX Konferencja Naukowa COE-2006, 19-22.06.2006, str. 51-55.
- [2] J. Marczak, M. Zygmunt, A. Młodzianko, R. Ostrowski, Z. Mierczyk, A. Gawlikowski, Wojskowe dalmierze laserowe, Biuletyn WAT, Vol. LI, Nr 6, s.21-63, 2002.
- [3] G. Vishnevsky et al, Development and investigation of the digital EBCCD camera with 1024X512 format frame-transfer EBCCD image tubes, Proceedings of SPIE Volume: 3901 Photonics for Transportation Oct 1999, 137-143.
- [4] Elbit, Laserowe pompowanie obrazu, Raport – Wojsko Technika Obronność, 04/05.